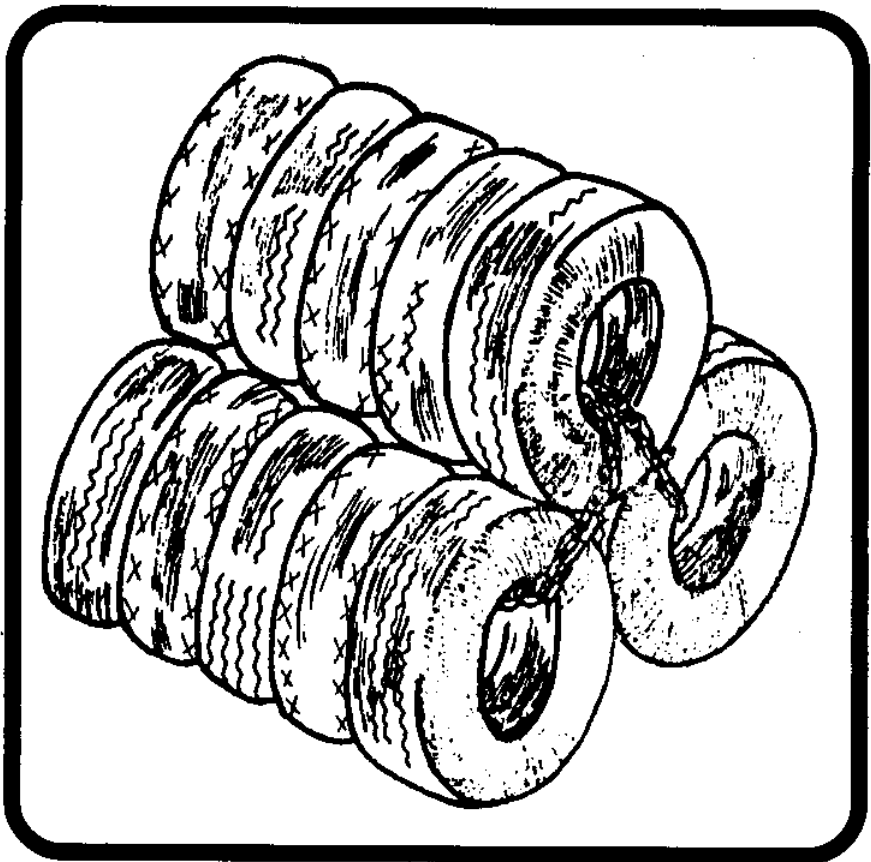


LOAN COPY ONLY

Perspectives on an Artificial Habitat Program for Fishes of the Cuban Shelf



Dr. Rodolfo Claro
Dr. Juan P. García-Arteaga

Translated by
Dr. Georgina Bustamante
and
Dr. Kenyon Lindeman

\$10.00

Perspectives on an Artificial Habitat Program for Fishes of the Cuban Shelf

by

*Dr. Rodolfo Claro and Dr. Juan P. García-Arteaga
Institute of Oceanology, Havana, Cuba*

SGEB-49

May 1999

\$10.00

Copies of this publication can be obtained by sending a check or money order made out to the University of Florida in the amount of \$10.00 to: Florida Sea Grant College Program - University of Florida - PO Box 110409 - Gainesville, FL 32611-0409. For more information call: (352) 392-2801.

Translated by

Dr. Georgina Bustamante
Department of Biology - University of Miami, Miami, FL

and

Dr. Kenyon Lindeman
Coastal Research & Education, Inc., Miami, FL



Florida Sea Grant College is supported by award of the Office of Sea Grant, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce, grant number NA 76RG-0120, under provisions of the National Sea Grant College and Programs Act of 1966. This paper is funded by a grant from the National Oceanic and Atmospheric Administration. The views expressed herein are those of the author(s) and do not necessarily reflect the views of NOAA or any of its sub-agencies. This information is published by the Sea Grant Extension Program which functions as a component of the Florida Cooperative Extension Service, Christine Waddill, Dean, in conducting Cooperative Extension work in Agriculture, Home Economics, and Marine Sciences, State of Florida, U.S. Department of Agriculture, U.S. Department of Commerce, and Boards of County Commissioners, cooperating. Printed and distributed in furtherance of the Acts of Congress of May 8 and June 14, 1914. The Florida Sea Grant College is an Equal Opportunity-Affirmative Action employer authorized to provide research, educational information and other services only to individuals and institutions that function without regard to race, color, sex, age, handicap or national origin. The information in this publication is available in alternate formats. Information about alternate formats is available from Educational Media and Services, University of Florida, PO Box 110810, Gainesville, FL 32611-0810. 05/99.

© Rodolfo Claro and Juan P. García-Arteaga, 1989

© Editorial Academia, 1991

Original published by:

Editorial Academia
Industria No. 452
Havana 10200, Cuba

For the present edition:

Translation: G. Bustamante and K. Lindernan

Published by:
Florida Sea Grant College Program, University of Florida
Gainesville, Florida, USA

Table of Contents

Abstract / v
Preface / v
Introduction / 1
The Fundamentals of Artificial Habitats / 1
International Experience / 3
Cuban National Experience / 7
Methods and techniques for the use of artificial reefs / 13
Delineation of areas / 13
Structures, Shapes and Sizes / 14
Configuration and Density / 17
Costs and Economic Efficiency / 18
Fundamentals of the Use of Artificial Refuges for Fishing in Cuba / 19
Background / 19
Definition of Objectives / 22
Means to Achieve the Objectives / 22
Methodology for the Implementation of a National Program / 23
Configuration of an Artificial Reef / 26
Delineation of Areas with Suitable Conditions for the Establishment of Artificial Reefs / 27
Zone A (Gulf of Ana María and Gulf of Guacanayabo) / 29
Zone B (Gulf of Batabanó) / 31
Zone C (Northwestern Region) / 32
Zone D (Northeastern Region) / 33
Feasibility of the Development Program / 34
Acknowledgments / 35
References / 35

Abstract

A brief analysis of the basics of artificial reefs as well as the methods and techniques in use are provided. The need for clear objectives and the design of artificial reefs for long-term goals is emphasized. Several principles are established. First, artificial reefs must target the enhancement of biological and fishery production of the Cuban shelf. This principle introduces major changes in current concepts, which are based exclusively on the increase of catch per unit effort. Second, an adequate balance between fishing effort, refuge capacity, food availability and fish recruitment must be established. Therefore, the use of artificial reefs with many cavities as habitats for algae, invertebrates and fishes, in place of artificial reefs exclusively employed as fish aggregators, is discussed. A methodology for a national development program, including the materials, structures, reef configurations, quantities, and distributions is proposed. As a result of examinations of habitats on the four sections of the Cuban shelf, an area of 13 500 km² is defined as adequate for artificial reefs and isolated refuges. Eight-hundred and fifty reefs, each one formed by 200 refuges, are proposed. The use of artificial reefs for recreational fisheries is recommended for Cuba.

Preface

The use of artificial reefs within coastal marine systems can vary substantially among geographic regions. Investigations on artificial reef use in the Gulf of Batabanó, the most important fishery area of Cuba, began in the early 1970s. This report provides a perspective on the use of artificial reefs in Cuba through the early 1990s. It also develops a coordinated plan for expanding the use of these structures among the four primary coastal regions of the island. By shedding light on the literature and approaches of Cuban researchers, this translation can have value to those working in similar coastal environments.

The authors have worked in a fish ecology research team for more than 20 years at the Cuban Institute of Oceanology. Some perspectives are dated as this translation occurred six years after the original publication in 1991. References dated here as "1994" were listed as "in press" in the original work. At the time of this translation, the draft national plan developed in the original report had not been implemented.

For those seeking additional information on artificial reefs, the proceedings of the fifth and fourth international conferences on artificial habitats for fisheries contain over 130 total papers with a broad range of perspectives. These were published as special issues of *Bulletin of Marine Science* in 1994 and 1989. More recently, the April 1997 issue of *Fisheries* has a section on artificial habitats. A variety of books on this subject are also available. For

those seeking further information on the fishes of Cuba, the book *Ecología de los Peces Marinos de Cuba* summarizes large amounts of data from Cuba and other Caribbean areas. A revision and translation of this book is underway. Additional publications on the marine fishes of Cuba by the authors can be found in various journals. Some examples are listed below.

Claro, R. 1991. Changes in fish assemblage structure by the effect of intense fisheries activity. *Tropical Ecology* 32(1):36-46.

Claro, R. and J. P. García-Arteaga. 1993. Estructura de las comunidades de peces asociados a los manglares del Grupo Insular Sabana-Camagüey, Cuba. *Avicennia* 0:60-82.

Claro, R. and J. P. García-Arteaga. 1994. Estructura de las comunidades de peces en los arrecifes del Grupo Insular Sabana-Camagüey, Cuba. *Avicennia* 2:83-107.

Financial support for this translation was provided by Dr. James Cato of the Florida Sea Grant College Program. Susan Grantham, Beth Schoppaul, Dr. Jim Bohnsack, Don Pybas, and Oscar Monterrosa also provided assistance. Additional financial support was provided by Coastal Research and Education, Inc. Georgina Bustamante expresses thanks to the Florida Sea Grant College Program and Coastal Research & Education, Inc. for the opportunity to distribute the work of her research partners of twenty years to English-speaking readers. With limited resources, Dr. Rodolfo Claro and Dr. Juan P. García-Arteaga continue to work on diverse marine fishery issues in Cuba.

K. Lindeman and G. Bustamante

Introduction

Fishery exploitation of the Cuban shallow-water fishery resources is already close to or even beyond, the maximum sustainable level (Baisre, 1985; Claro *et al.*, 1994). Therefore, the increasing demand for fishery products is causing fisheries agencies to seek new ways to maximize benefits from aquatic resources. Some increases, although not sustainable, could be obtained with improved management, however the greatest expectations appear to be from mariculture. A planned and controlled use of artificial reefs not only would benefit the conservation of fishery resources, but also be one of the easiest and safest methods of "cultivating" the sea.

The use of structures known as "artificial reefs" has notably increased in the last 40 years. In some cases, these structures have been used as devices for attracting and aggregating fish in order to facilitate fishing operations. In others, they have been employed as a culture technique for fish, invertebrate and algae.

The significance of these techniques, together with the interest of the Cuban Ministry of Fisheries in developing the use of artificial reefs in Cuban coastal areas, led us to compile historical data, as well as review national and international experiences with artificial reefs. Subsequently, we formulated our own criteria for developing these activities in Cuba, considering its natural and socioeconomic conditions. In addition, an inventory of potential shallow-water areas for the establishment of artificial reefs was conducted. These objectives aimed to establish the scientific and technical basis for a national program for the development of artificial reefs for fish.

The Fundamentals of Artificial Habitats

Fish attraction to artificial reefs, as well as to natural reefs, is based on two main factors: 1) a highly developed positive thigmotaxis in fish, a behavioral feature adapted as a defense against predators (Mochek and Valdés, 1984); and 2) the creation of plant and animal assemblages upon the hard substratum that provide a trophic foundation for the habitat (Alfiere, 1975). Many other factors related to those mentioned cause fish to aggregate around refuges. Among these are the sounds produced by the movement of water through the structures or by the organisms living there, odors, and other factors associated with the presence of food and refuge.

Artificial reefs provide shelter to marine organisms allowing them to avoid predators, as well as a quiet area with favorable water movements allowing fish to conserve energy. In addition, these structures work as visual references, provide shade, allow fish to access new feeding areas and territories thereby increasing their abundance and home range, and increase the attachment surface for invertebrates and algae, which are food items for fishes, etc.

The high abundance of predators in tropical waters generates strong relationships among organisms, potentially making the amount of refuges a limiting factor for the carrying capacity of the habitat (Smith and Tyler, 1973; 1975; Sale, 1975; 1978; Helfman, 1978; Hixon and Beets, 1989). Mochek and Valdés-Muñoz (1984) demonstrated that fish attraction to refuges in tropical waters is higher than in cold, temperate waters. This is related partially to lower predation pressures in the latter areas, and partially to the development in high latitude areas of other defensive mechanisms less frequently displayed by tropical fish, such as schooling.

The occurrence of refuge is a primary element for sustaining reef fish populations as well as a factor limiting abundance. Dale (1978) pointed out that the extended breeding seasons of tropical fishes are adaptations to enhance colonization opportunities as refuges become available due to predation.

It has been shown that the location of artificial refuges increases primary production. Matthews (1966) found on an artificial reef during May-August, that 13-207 mg C/h-m² were fixed, while only 9-34 mg C/h-m² occurred outside the reef. According to Stone (1973), artificial refuges increased the carrying capacity of an area 300 to 1 800-times, compared to before their construction.

Food production on coral reefs does not seem to support the dense fish populations that aggregate on them. Several authors (e.g., Randall, 1963; Valdés and Silva-Lee, 1977; Sierra *et al.*, 1994) have shown that most of the fish inhabiting these refuges do not feed exclusively on them, but mainly on the seagrass beds surrounding the reefs. Despite its high gross primary productivity, most of the energy on such biotopes is utilized for the respiratory processes of the many organisms that do not intervene directly in the food web (corals, sponges, gorgonians, etc.). On such habitats, the net biological production could be reduced to almost zero (Odum, 1971; Huntsman and Manooch, 1978). Therefore, much of the fishery production on reefs is fundamentally derived from energy imported from seagrass beds and other habitats surrounding the reefs. It is expected that on artificial reef communities, where respiratory processes are lower because of fewer invertebrates participating directly in the food chain, net production should be higher. The establishment of artificial reefs on areas of the shelf lacking structure, can allow the utilization of food resources of vast zones, not currently exploited due to the lack of refuges.

Artificial reefs can be used to achieve several objectives:

- a) To compensate for habitat degradation as a result of pollution, natural events, or overfishing of certain species.
- b) To increase fishing activity opportunities after the expansion of potentially exploited areas.
- c) To increase fishery production, and reduce cost and fishery efforts.

- d) To develop a form of marine "cultivation". The deployment of refuges in suitable areas and the restocking of juveniles of selected species may be useful.
- e) To create feeding and nursery areas. The juvenile stages of many coastal fishes live in nearshore shallow waters. Some of these habitats and their fish populations are impacted by land-based sources of pollution. The establishment of artificial refuges especially designed for juveniles in areas not affected by coastal pollution could increase fish recruitment. In such cases, the structures could protect juveniles against predators and decrease natural mortality.
- f) To better manage fishery resources, as fishermen and enterprises get linked to certain fishing areas (regionalization). This facilitates the control and protection of the resources, the rational use of fishing gears, and reduces the chances of over-exploitation of highly valuable or vulnerable species.
- g) To control and monitor recreational fisheries.

Two different forms of artificial refuges can be distinguished: for attraction or aggregation of marine organisms, and as a method of increasing biological or fishery production. In the former, the refuge is used as a fishing "sub-gear" that elevates fishing yields. In the latter, the objective is to increase ecosystem productivity. Bohnsack (1989) questioned this latter strategy, but agrees it can be applicable to areas located far from natural reefs. This is the case of the Cuban shelf, where seagrass beds and sandy areas without any refuge extend up to several dozen kilometers away from natural reefs. The indiscriminate use of artificial refuges as fish attractors may, in certain conditions, contribute to the over-exploitation of fishery resources. In such cases, the refuges certainly work as an aggregating device, but contribute poorly to biological production.

International Experience

Artificial refuges have been used for many years in several countries, but with different objectives. Three countries stand out for their experience and success: Japan, Taiwan and the United States. Artificial reefs have been used in the United States since 1830 (Holbrook, 1860). Until recently, these structures were used mainly for recreational fisheries, as this activity may benefit local communities where tourism is an important source of income and jobs.

Until the 1980's, the construction of artificial reefs in the United States was strongly associated with the disposal of waste materials that accumulated in many locations. This approach particularly limited the success of the US program for the development of artificial reefs (Sheehy, 1983).

Since 1935, at least 150 artificial reefs were constructed along coastlines of the U.S. and in some lakes. Although results did not always meet expectations, often due to a lack of clear objectives, the economical profitability of such activities was often established (Unger, 1966; Parker *et al.*, 1974; Sheehy, 1983; Stone, 1983). In recent years, some concepts and methods developed in

Japan have been applied in the U.S. These methods have proven to be more efficient and scientifically supportable.

In Japan and Taiwan, the use of artificial reefs has been conducted under different principles and perspectives. Both countries oriented their efforts to the utilization of customized structures which were built according to well-defined goals.

Although artificial reefs have been used traditionally in Japan, a large-scale program began just 35 years ago. These structures were built mostly with reinforced concrete or metal. The one-piece modules (Fig. 1) were typically arranged in clusters and with an arbitrary distribution. In the early 1970's, as a consequence of the adoption of the 200-mile Exclusive Economic Zone by many countries, as well as the increase of oil prices, the Japanese fishing fleet was forced to reduce the area of its operations. This process coincided with a period of marine pollution, coastal development and over-exploitation of natural resources. These conditions promoted the allocation of funds for developing a program for the construction of artificial reefs, fish aggregating devices, and other methods targeting the increase of fishery resources along the Japanese coasts (Sheehy, 1983). Among these were structures for fish, invertebrates and macroalgae, as well as modules designed for specific environmental conditions, species, and even specific life stages of commercially significant species.

The current premise for the design of a refuge is the creation of those elements of the reef that are important for selected species. This concept differs from the prior one which had the objective of replicating the complexity and surface of natural reefs. Reefs are the result of geological and biological evolution, and this enables them to attract and maintain fish populations. However, they are not necessarily optimal aggregators nor do they provide the maximum biological capacity for the species that we are interested in attracting (Sheehy, 1983).

These principles brought about another type of design, more oriented to specific objectives. Although small units of the first generation of Japanese structures were piled without any specific arrangement, the second generation included large manufactured units (some of them up to 730-m³) that were placed individually, with a specific pattern of distribution, orientation, and distance (Fig. 2). Most of these units were made of reinforced concrete, steel, acrylic, or other materials. They are generally formed from different manufactured pieces allowing the builder to change the design to fit local conditions and to mount them in different ways.

Japanese experiences with the use of artificial refuges as a way to develop commercial fisheries have shown considerable technical success. Other countries such as Australia, Mexico, Philippines, France, etc. also use artificial refuges, although to a lesser extent and following the same patterns and concepts adopted by the United States during its early stages.

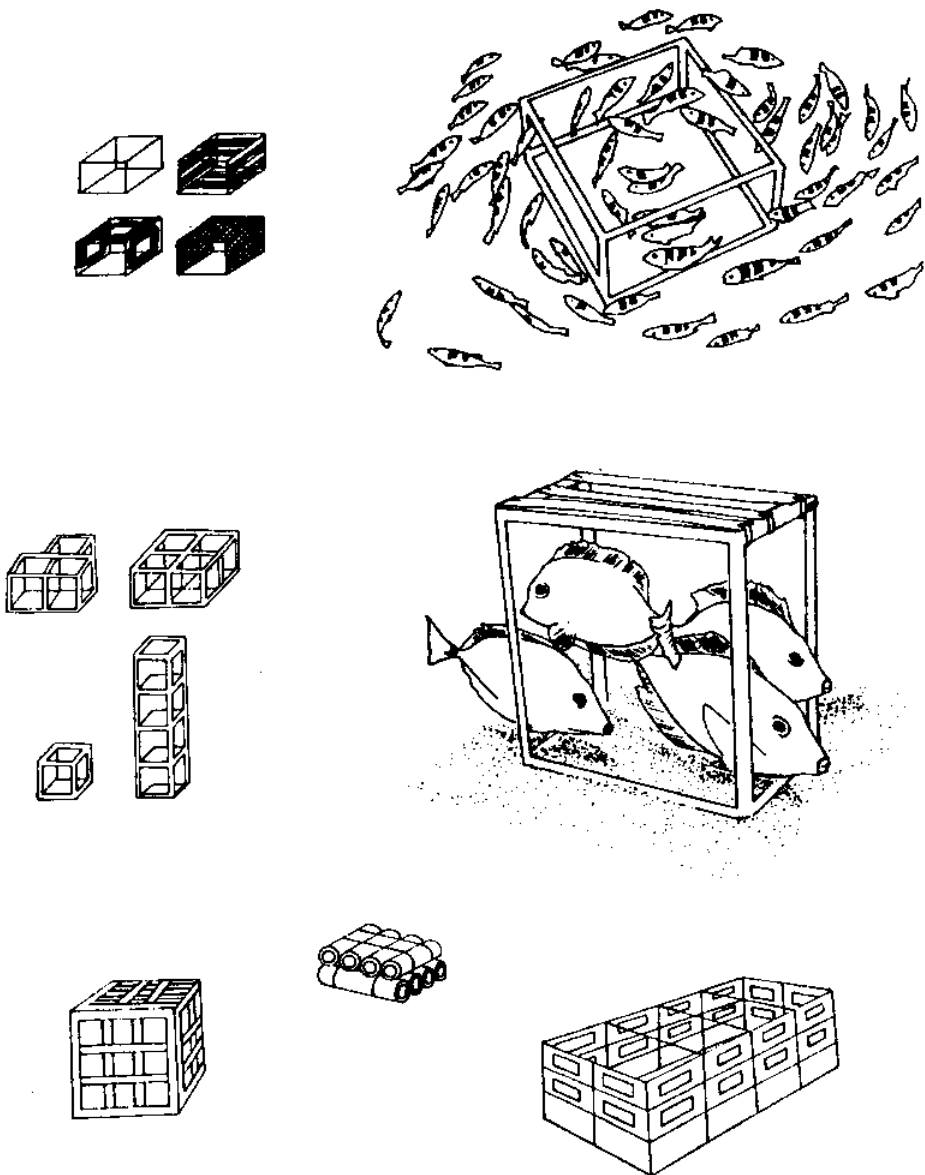


Fig. 1. Cubic concrete and metal structures used in Japan during the early stages of artificial reef development.

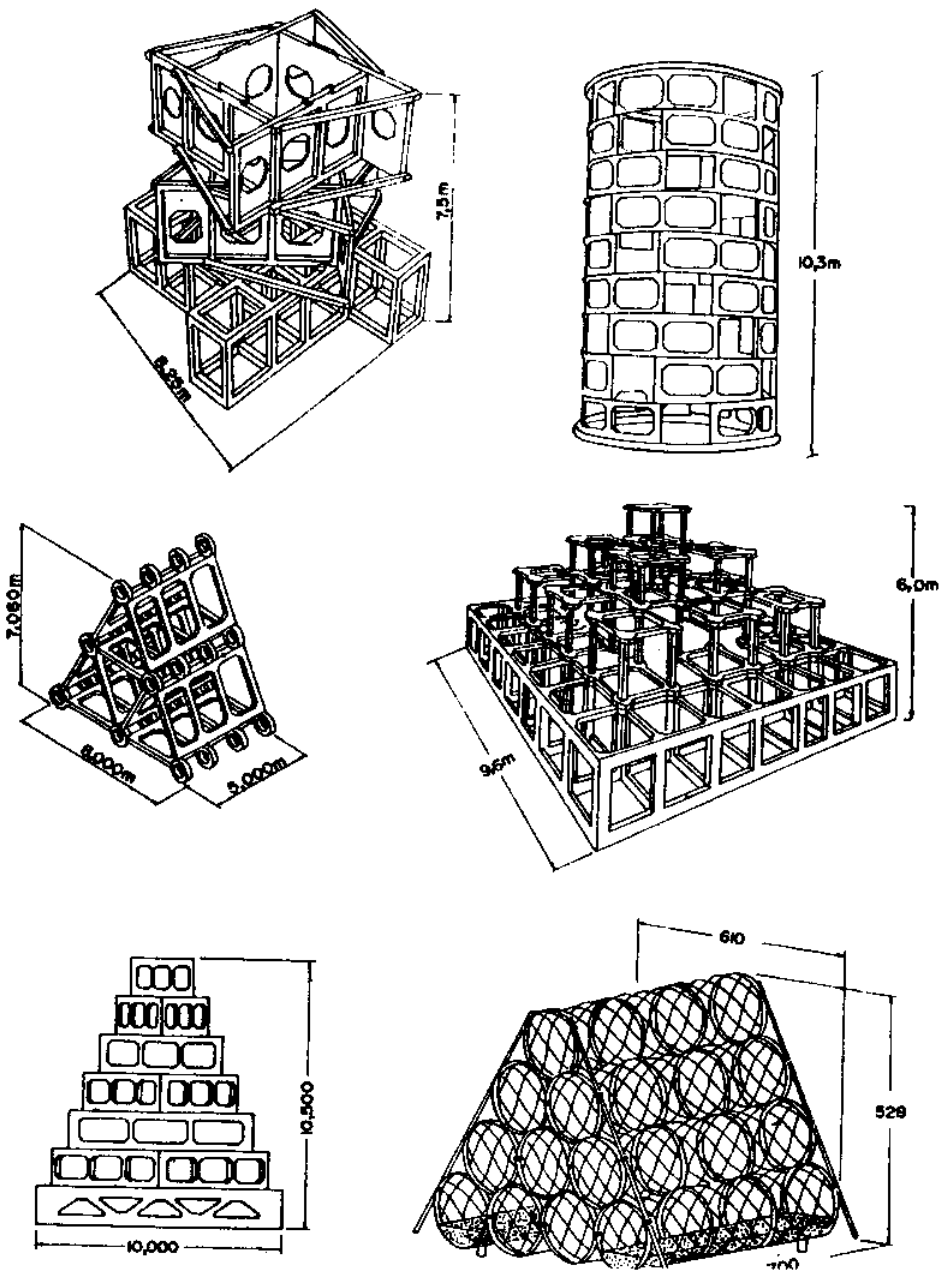


Fig. 2. Concrete and plastic structures currently used in Japan for the construction of artificial reefs.

Cuban National Experience

Artificial refuges, known locally as *pesqueros*, have been used by several generations of fishermen in Cuba, mainly in the Gulf of Batabanó (Silva Lee, 1975; Bustamante *et al.*, 1982; Giménez *et al.*, date unavailable). They have also been employed in other areas but not in such an organized and systematic manner.

In all cases, these artificial refuges in Cuba have been used as fishing gears (or sub-gears) for attracting and concentrating fishes. The *pesqueros* are not true artificial reefs since they are formed of relatively small and isolated units which are placed mostly over seagrass beds, distant from natural reefs, and do not contribute to the increase of food supply, nor do they enhance the ecosystem production or create a habitat capable of maintaining a local population. The best known and most frequently employed refuges (*pesqueros*) for concentrating fish in Cuba are those built using branches from red mangrove trees, *Rhizophora mangle* (Fig. 3). They are also made from tires, car bodies, metallic pipes and bins, scrap iron, etc. More than seventy-five years of experience in the Gulf of Batabanó demonstrates that the mangrove structure attracts the greatest amount of fish in the smallest time period. However, this structure possesses some disadvantages, as it degrades rapidly (after 10-12 months), needing replacement every year. This problem is amplified by the existing restriction on mangrove harvesting.

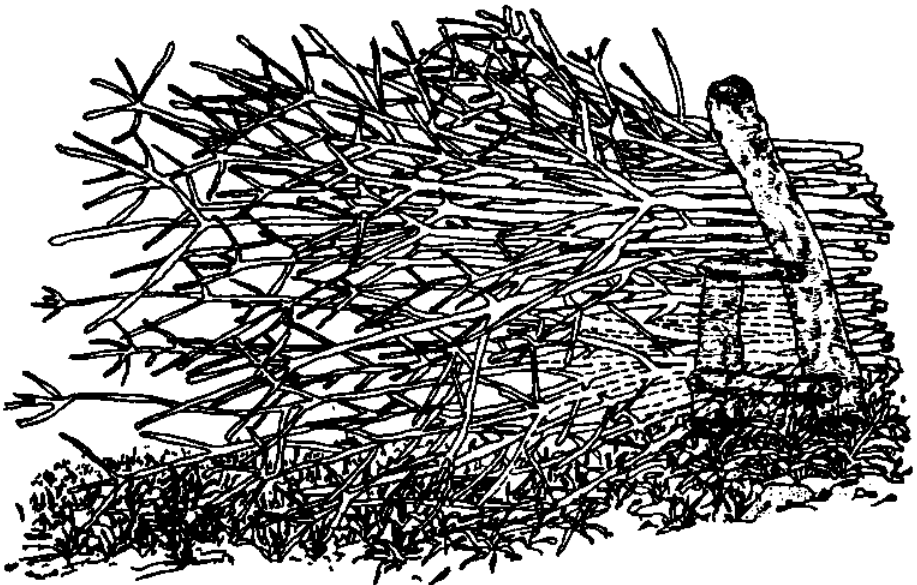


Fig. 3. Mangrove *pesquero* utilized by fish trawlers in the Gulf of Batabanó, Cuba, for aggregating fishes (after Silva, 1975).

Typically mangrove structures are installed together with a set of tires and sometimes with other materials. Fishermen think that the former are the basis of fish attraction and concentration, while the tires, which last longer, increase the duration of the entire *pesquero*, and even its fish carrying capacity.

Tires are usually assembled in 18 groups of 18-20 pieces of 1-1.2 m diameter. These tires are from trucks or buses and are tied together with galvanized steel chains forming three lines (Fig. 4). The structure loses its shape as it is dropped into the water, however, most of the tires remain in a vertical position. Some fishermen simply join them by passing a chain through their center forming a type of rosette.

Mangrove refuges occupy about 15 m³, while those of tires occupy 4-5 m³, so both combined reach a volume of approximately 20 m³.

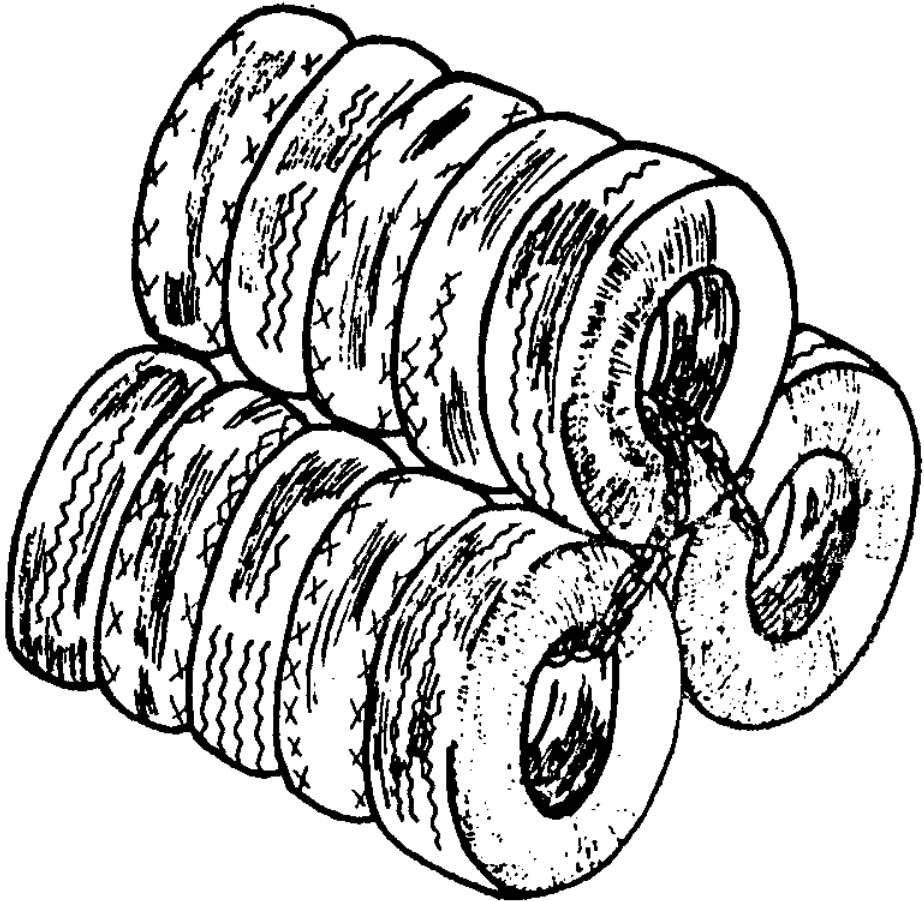


Fig. 4. Refuge used in the Gulf of Batabanó for attracting and aggregating fishes. The refuge is built with 18 tires of 1-1.2 m diameter and positioned by itself or with a mangrove *pesquero*.

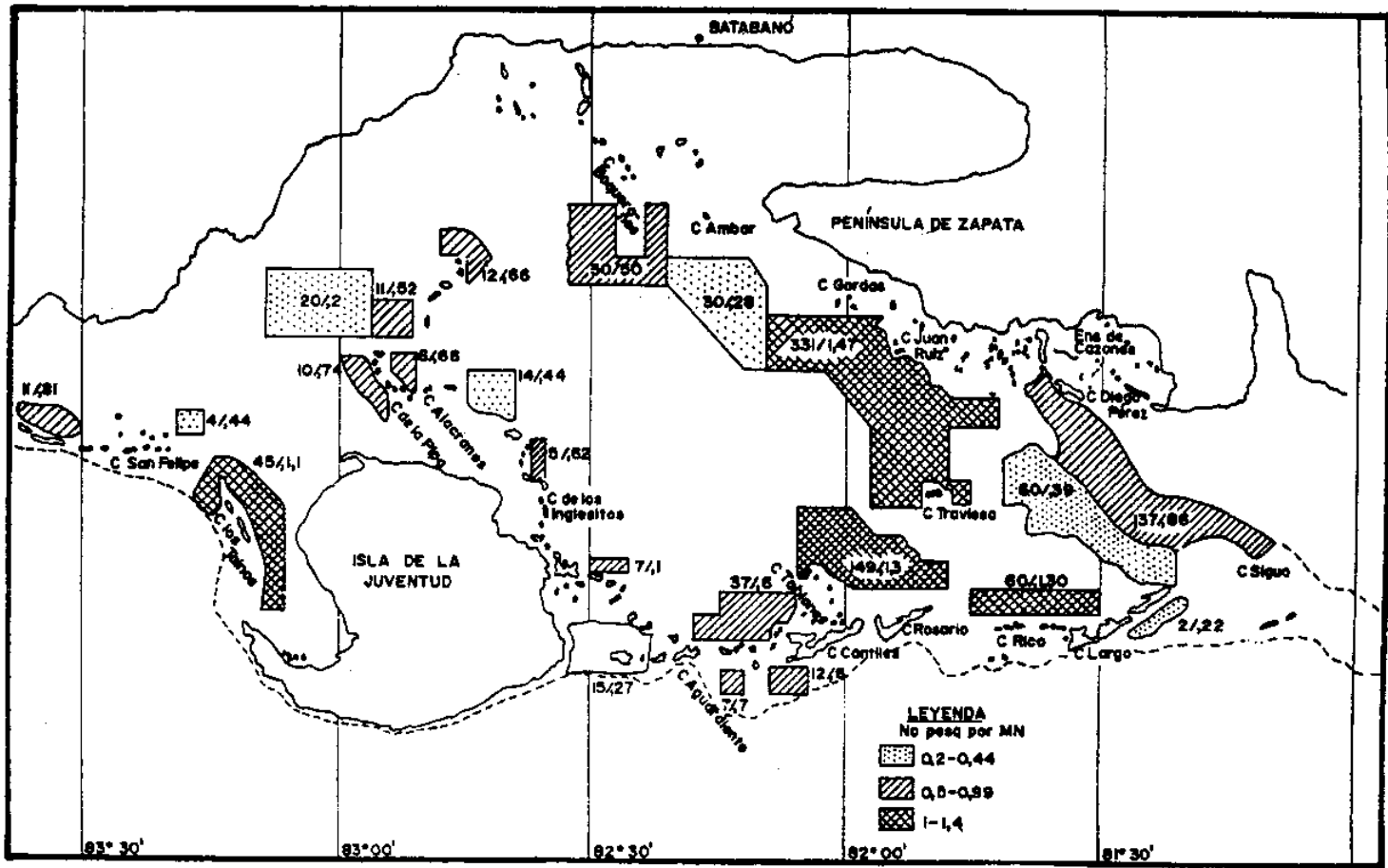
A survey conducted by Giménez *et al.*, (date unavailable) showed that *pesqueros* in the Gulf of Batabanó in 1984 were present in about 21% of the overall operational area of the fish trawlers (Fig. 5). The refuge density ranged from 0.2 to 1.5 square nautical miles, although in the major areas it was just 1 square nautical mile. These values may vary from time to time as crews do not always face the same conditions when they replace the mangrove structures and/or increase the number of *pesqueros*, although the amount deployed has increased in recent years. Nevertheless, the average density of *pesqueros* in each region remains relatively stable and in agreement with the ecosystem carrying capacity. In fact, the fishermen state that a higher density of them does not enhance the capture, but the fish biomass is spread among all the refuges, therefore reducing the fishing yield per *pesquero*.

So far, the artificial refuges in use are only fished with fishing trawls, a more productive and efficient method than traps and gill nets. Operations are conducted in the following way: the *pesquero* is surrounded with the trawl from a motor boat. Subsequently, the tire refuge is tied with a rope and towed by a second motor boat, making it pass beneath the seine wings. As the refuge is moved, the fishes head to the mangrove refuge which is lifted by hand from a boat, at the same time the net is trawled with the first boat beneath the *pesquero*, so the fish get caught within the net wings, which is closed with two big poles (Claro, 1981; Giménez *et al.*, date unavailable). Compared to data published elsewhere, the *pesqueros* used in the Gulf of Batabanó can be considered very productive. The reports on catch per trawl kept by the fishermen through 1980 averaged 435-450 kg of commercial fish (approximately 18 kg/m³ of refuge), excluding bycatch (Silva Lee, 1975; Bustamante *et al.*, 1982). At least two-thousand kilograms were frequently obtained in those catches (Silva Lee, 1975). In Japanese concrete refuges, captures ranged from 0.3 to 112 kg/m³ (Green, 1982). After the over-exploitation of lane snapper in the Gulf of Batabanó, the mean catch diminished to 150-200 kg per trawl cast (Claro *et al.*, 1990).

Randall (1963) recorded 46.9 kg (0.37 kg/m² of fish in a 125-m² area) of fish over a concrete block in the U.S. Virgin Islands, within a period of 2 years and 4 months. In comparison, although harvested 3-4 times per year, *pesqueros* stored 90-times more biomass per unit area of refuge than those studied by Randall. This great amount is due probably to the fact that the Cuban *pesqueros* have a high fish attracting capacity, and that the fish themselves have the capability to get food from substantial seagrass bed areas, more extensive than in the Virgin Islands. On the other hand, the number of large predators is relatively higher in the Gulf of Batabanó than on the Virgin Islands reefs built by Randall, where small fish species, many having no commercial significance, dominate.

The results obtained from artificial reefs made of mangroves suggests the utility of several elaborate design choices constructed of durable materials (concrete, plastic, etc.), that because of their form, capacity and the varied type

Fig. 5. Distribution and density of pesqueros in the Gulf of Batubandó in 1984 (after Giménez et al., date unavailable). LEGEND: No. pesqueros per square nautical mile.



of shelters they provide, can replicate and equal the level of attraction of the mangrove *pesqueros*.

Just a few fishermen in the Gulf of Batabanó use a type of *pesquero* constructed with black and white mangrove poles, similar to those used for aggregating lobsters, but much taller (Fig. 6). These fishermen state that this kind of structure concentrates as many or more fish than the mangrove-made one and lasts longer. In a way, the configuration of this structure provides fish with a refuge similar to that of the mangrove-made *pesquero*. Nevertheless, it is hard to acquire the materials and its construction is very laborious, all of which restricts its use.

According to fishermen interviews and fish surveys conducted by us in the Gulf of Batabanó, fish colonization to a minimal fishable density (about 100 kg) occurs in the mangrove-made *pesquero*, within 30 to 60 days, and in the case of other structures, within 2 to 4 months, depending on the location. After the new habitat is established, the recolonization after each harvesting, occurs within 30-60 days. Therefore, some refuges can be fished up to 4 times per year and even more.

The study of catch composition of commercial fish trawlers (Bustamante *et al.*, 1982) showed that an average trawl cast over a *pesquero* yields 20% more fish biomass, and of better quality, than the trawls conducted over patch reefs in the same area. In addition, the operation over the former is faster (it lasts just a few minutes) than over the latter (about 1-2 hours), and casts over patch reefs trawl throughout a much greater area.

Despite these advantages, increasing the number of fish aggregating refuges might lead to the dispersal of fish and the reduction of fishing yields. In addition, overfishing can occur since the vulnerability of the fish populations occupying a specific area might increase without a proportional enhancement of recruitment and food supplies. Such effects have already appeared in the Gulf of Batabanó, where the steady increase in fishing (partially due to the increase in the number of refuges) has led to diminished fish catches and yields, as well as the quality and commercial value of the captures (Claro *et al.*, 1994). That situation motivated the recommendation to halt the increase in the amount of *pesqueros* in the Gulf (Claro and Giménez, 1989).

Research was conducted by our team to examine the feasibility of artificial refuges for enhancing juvenile survival of coastal demersal species, as well as their preferences for different types of structures (García-Arteaga *et al.*, 1990) (see Fig. 7). Each refuge type provides structural characteristics specific to certain types of fish behavior. The mean density of juveniles on such refuges was 60-times higher than in seagrass beds. A cross-comparison of the four prototypes demonstrated that the mangrove refuges aggregated 5 to 13 times more juvenile fish than the rest of the structures. The dominant species were grunts (*Haemulidae*) and snappers (*Lutjanidae*), while predators in and around the structures were almost absent. These data suggest that refuges can be useful for enhancing the recruitment of commercial fishes.

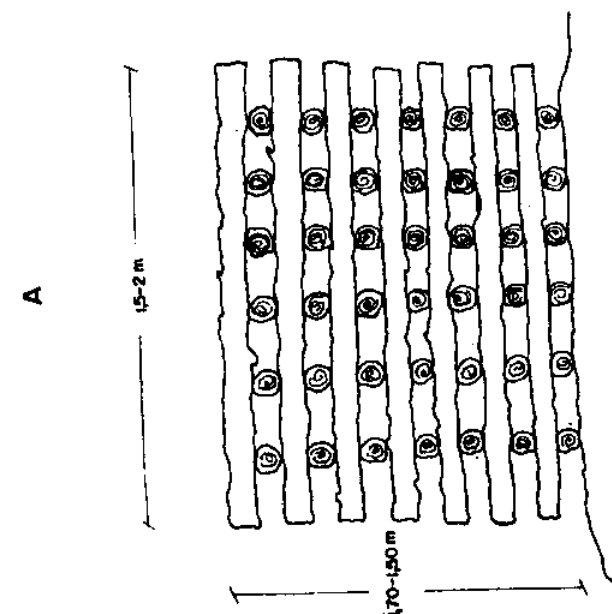
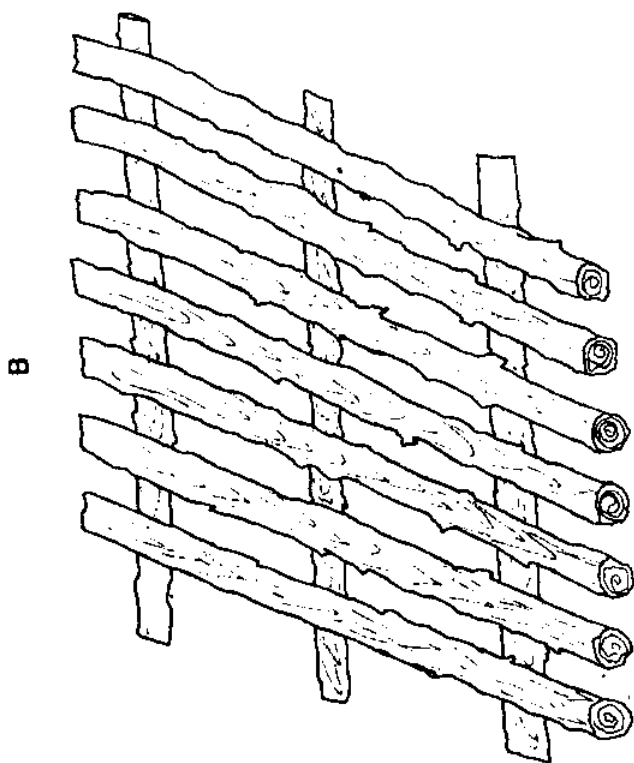


Fig. 6. *Pesquero* built with white mangrove limbs, used incidentally for fish aggregation by some fishermen in the Gulf of Batabanó. A - lateral view, B - aerial view of a layer of limbs.

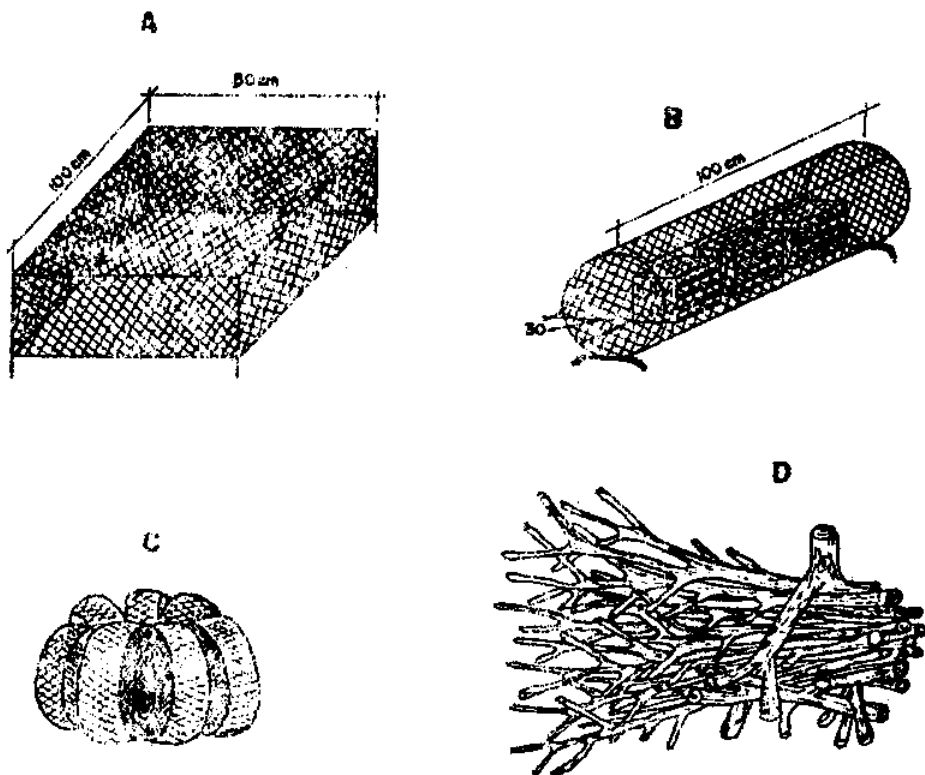


Fig. 7. *Refuges designed for increasing the survival of juvenile stages of commercially significant fish species (after García-Arteaga et al., 1990).*

Methods and techniques for the use of artificial reefs

Delineation of areas

Most of the failed cases related to the use of artificial reefs are due to the selection of the wrong area. Such decisions must rely on the study of various factors; among those that stand out are:

- a) Substrate: The surface should be firm, preferably rocky or sandy, in order to prevent the sinking of the structures into the sediment.
- b) Rate of sedimentation: Even over a hard bottom, a high rate of sedimentation might lead to the partial coverage of the structure, reducing its effectiveness. It may also affect the attachment and development of algae and invertebrates.

c) Currents: The flow of water can carry large volumes of sand with the same effects mentioned above. On the other hand, strong currents may cause high energy expenditures of fishes. Most fishes prefer quiet waters. The type of fishing gear that will be used for harvesting the fish also has to be considered since currents might affect fishing operations.

d) Topography: Low-relief areas are typically selected for reef placement. Fish are usually scarce on those areas, although relative proximity to a natural reef may speed the colonization process. Refuges should not be placed on trawling areas unless they are specially targeted as preserved nursery or feeding areas.

e) Depth: There are no depth restrictions, however, the distance between the top of the refuge and the water surface should be greater than the draft of the largest boat navigating in the area. Selected depths are usually between 5 and 50 m. The height of the refuge should be based on the depth where they are placed. Higher structures provide larger volumes of shelter per unit area and aggregate more fish.

f) Turbidity: Most organisms inhabiting reef areas require clear waters. Turbidity affects photosynthesis and invertebrate settlement. Typically, polluted or potentially threatened areas due to river discharge, sedimentation, or muddy bottoms, must be excluded.

Structures, Shapes and Sizes

The earliest reports on the use of artificial reefs referred to the use of palm tree leaves (Westernberg, 1953), bamboo and dry branches (von Brant, 1972), floating vegetation and branches (Welcome, 1971) and other structures derived from vegetation; many of which are still in use.

A great variety of materials are currently used. They can be grouped into two categories: discarded materials and customized structures.

Some developed countries use artificial reefs as a way to dispose of material whose storage is a problem, and because they pollute and affect the landscape. Thus, for the last 30 years, cars, trucks, buses, boats, ships, pipes, tanks, boilers and other metallic, concrete or plastic containers have been used for this purpose. Rocks and all kinds of hard materials that do not float have also been used (Unger, 1966; Stone, 1973; Stone *et al.* 1973; Sheehy, 1983). More recently, blocks manufactured from waste products from the combustion of carbon (Woodhead *et al.*, 1982), minerals electro-deposited from water (Hilbertz *et al.* 1981) and packed wastes, some of them containing organic substances that supply nutrients to the aquatic environment, have been experimented with. The latter substances may input up to 100 g-at ammonium/ m^3 -hr, which may support algae blooms (Loder *et al.*, 1974).

Car bodies and other metallic structures have proven to be good fish aggregating devices. However, they are not durable and are destroyed almost entirely in 3-5 years (Stone, 1972), and are hard to transport. Secondly, some

authors (Fein and Morganstein, 1974) think that such materials pollute the aquatic environment. Therefore, the use of such structures is currently considered impractical. However, sunken boats in adequate locations are durable structures and aggregate a great number of marine organisms, which in turn attract tourists.

Scrap tires are an important source of cheap, accessible and durable material for building varied types of refuges (Fig. 8). A well-assembled refuge may last more than 30 years, although the life of such materials is much longer. Generally, the refuge falls apart when the material used to tie the tires (chains, wires, ropes, etc.) degrades. This may cause the tires to disperse, and sink into the sediments. Therefore, it is recommended to use the rubber border on the inner part of the tires for its assemblage. This material usually releases some toxic substances into the environment (grease, several solid particles, etc.), so measures should be taken to prevent pollution.

Customized artificial reefs made up of plastic, concrete and other durable materials can provide great advantages. First, they are better able to incorporate to natural habitats since sponges, mollusks, algae and other organisms

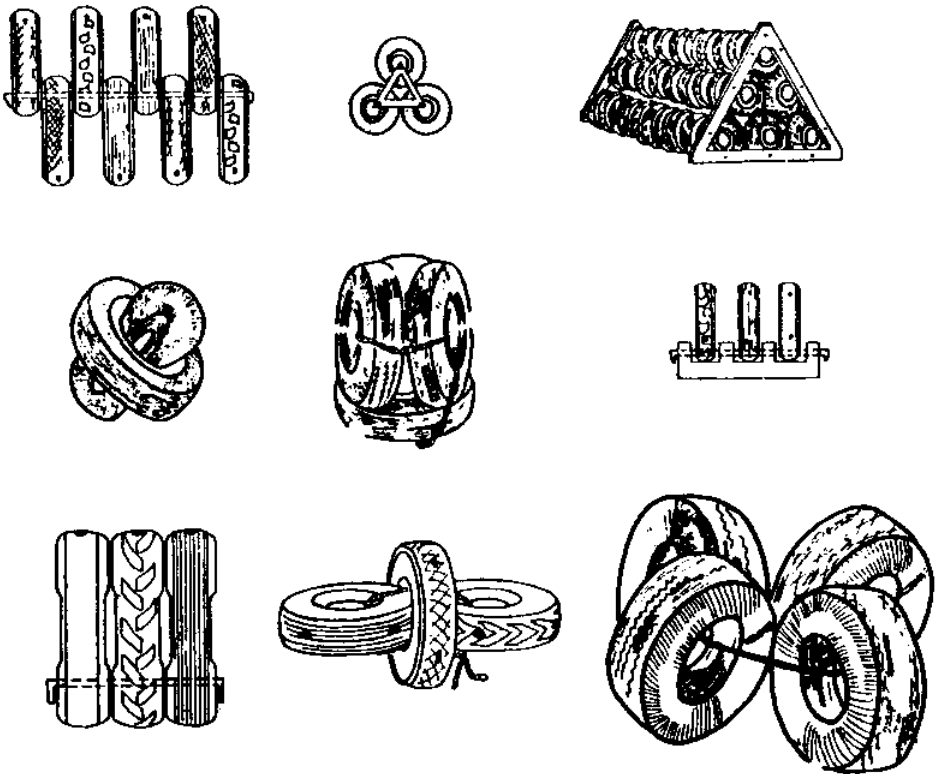


Fig. 8. *Different ways tires are used as artificial reefs for fishes.*

may attach to them better than to metallic and rubber structures. Secondly, they do not affect the aesthetic seascape nor introduce contaminants. Typically, materials that are designed especially for refuges have advantages over waste materials. The inherent flexibility of the former allows the manufacturing of more stable units. They are also more effective for selected species and for specific objectives. Initial costs might be greater, but so are the benefits. The useful life is usually longer and it is more economic.

Floating or mid-water devices are highly advantageous for aggregating pelagic fishes (Hunter, 1968; Wickham *et al.*, 1973) (Fig. 9). Such structures present great advantages in comparison with those placed over the bottom: they are easier to transport, they can be moved from one place to another, the colonization process is faster, and most of the aggregated species are typically migratory and less vulnerable to intense fishing. Different floating objects can be used to build them: from tree branches and logs, to sophisticated materials such as polyvinyl, synthetic fabrics, tires, etc. Tuna (*Scombroidae*), herrings (*Clupeidae*), jacks (*Carangidae*), dolphin (*Coryphaena hippurus*), and other pelagic species, aggregate around these devices. In shallow coastal waters, greater catches may be obtained when mid-water devices are combined with demersal refuges.

Floating or sunken plastic bushes provide additional habitat for fish, especially the juvenile stages, as well as for numerous and varied organisms which are their food targets. Nevertheless, heavy fouling causes the sinking of such habitats (Parker *et al.*, 1974). Thus, despite their usefulness, improvement of the technology is still necessary.

The design of refuges should first consider the composition of local ichthyofauna and the behavior of target species. It is not always appropriate to

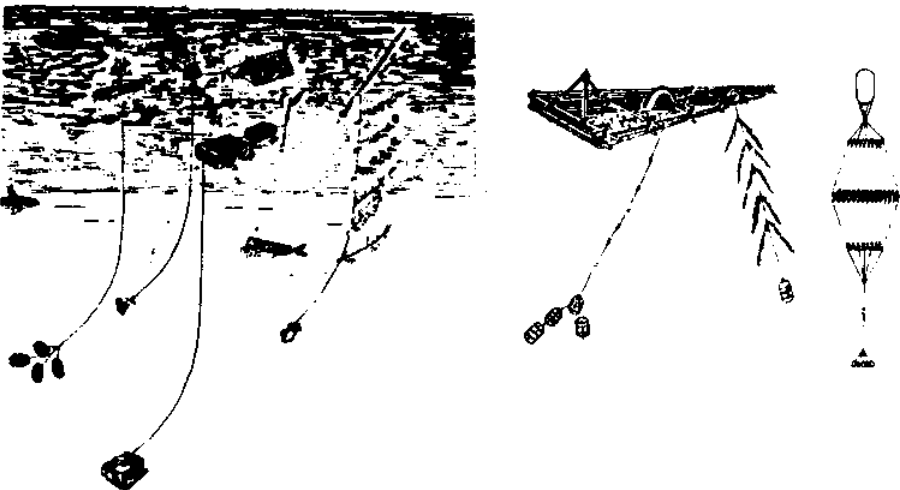


Fig. 9. (Continued)

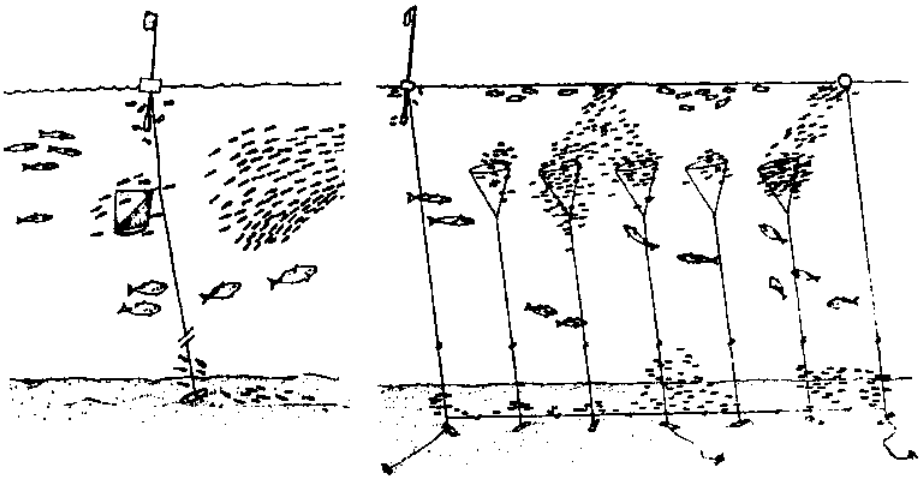


Fig. 9. *Examples of floating or mid-water structures employed for aggregating pelagic fishes.*

introduce some of the structures mentioned above. For example, pelagic and gregarious fishes prefer high structures, with lots of room for moving schools. Some demersal and cryptic species, however, do prefer small cavities, which provide individual, dark shelters. Between both groups, there is a gradient of features that should be analyzed before designing refuges. Pelagic-gregarious fish are dominant in temperate and cold waters, while in tropical areas where reefs are abundant, demersal fish are more numerous.

In order to select materials and structures, assessment of density and weight of the material is required; they should endure the prevailing swell and currents without moving away. The shape of the refuge should endure local hydrological conditions. Structures with walls, plates, etc., offer better resistance to water motion than open ones or those formed only of bars or columns (Matthews, 1966).

Configuration and Density

The design of an artificial reef should involve several factors, mainly the shape and size of the structure, the configuration and density of the reef (Fig. 10), and the arrangement and spacing of the units that make it up (Sheehy, 1983). The definition of each of these elements depends on the objectives of the refuge, the local hydrological conditions, the fishing gears that will be used, etc.

Theoretically, large reefs are more productive than small ones. However, the distribution and shape of the structures plays a determining role. Generally, the dispersal of sizable structures 10 m from one another, shaped in a circle or a square, offers the best results per unit volume, in comparison with a

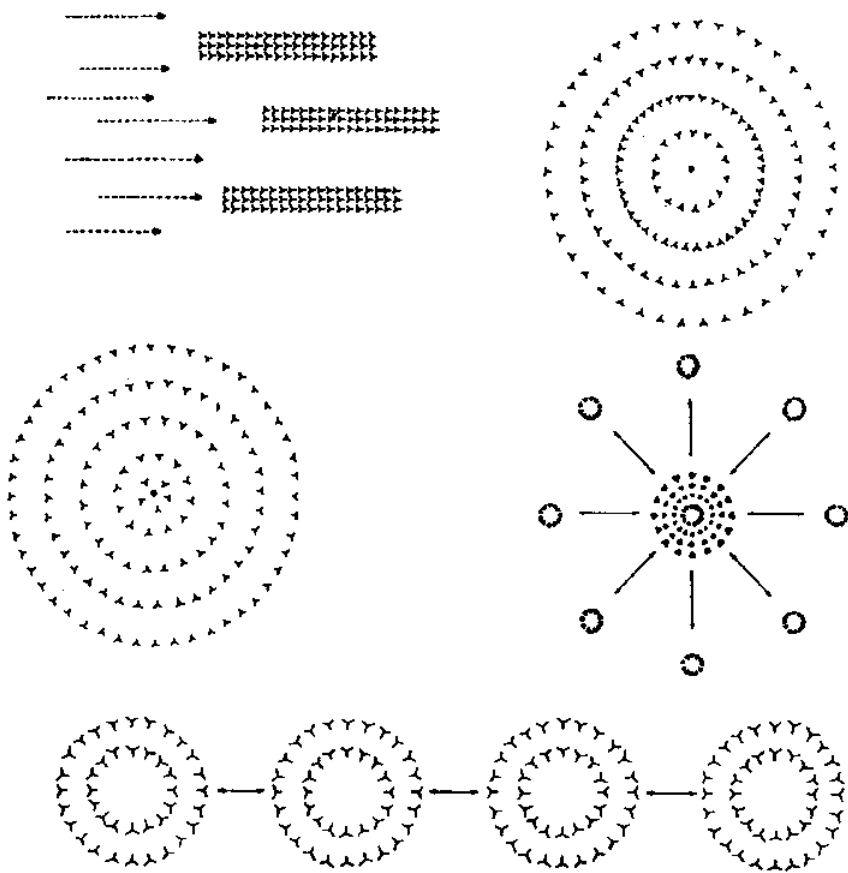


Fig. 10. *Different artificial reef configurations and refuge arrangements, as employed in Japan.*

compact structure with the same amount of materials. The minimum size of an artificial reef should range from 400 to 2 000 m^3 (Sheehy, 1983).

The distance or area of influence depends on the habitat of each species. Nevertheless, it is generally considered to be 100 m for demersal fish; about 200 m for pelagic, and approximately 30 m for many coral fish (FAO, 1983).

Costs and Economic Efficiency

Building costs of artificial reefs may be relatively high, even if waste materials are used. This is due mostly to the high costs of their collection and transport. The involvement of volunteers contributing to local economic development, is one of the most frequent ways of reducing costs in the U.S. and Japan. The assessment of economic efficiency surely includes the local socio-economic conditions. In Cuba, the centralized economic system makes it possible to estimate value as follows: the economic efficiency is equal to the

value of the annual catch minus the building cost of the reef divided by the number of years of the productive life of the reef.

Fundamentals of the Use of Artificial Refuges for Fishing in Cuba

Background

Large areas of the Cuban shelf lack conditions for abundant, commercially significant fish populations and therefore fishery activities. It has been demonstrated that, in most of these areas, the limiting factor is the absence of reefs, since hydro-biological conditions seem to be adequate and, in some cases, the existing food supply for fish is similar to or even greater than in the traditional fishing zones. The implementation of an artificial reef program in these regions constitutes a way to, not only incorporate currently non-productive areas, but also to develop methodologies that might improve the condition of fishery areas now under exploitation.

Several authors (Stevenson and Marshall, 1974; Wijkstrom, 1974; Carpenter, 1977; Munro, 1977; 1983; Marshall, 1980; Russ, 1984) calculated that coral reef areas may yield a potential catch of 4-6 ton/km² yr. This figure includes not only the reefs but also seagrass beds, sandy areas and all the adjacent habitats stretching from the shoreline to the border of the shelf. In areas of active coral growth in American Samoa, potential captures of 8-18 ton/km² are estimated (Hill, 1978; Wass, 1982). In the Cuban shelf, the proportion of area covered by reefs is much smaller than in the Pacific ecosystems, so such a large potential may not be expected. The maximum productivity obtained in the Cuban platform is approximately 1.3 ton/km² (1.45ton/km², including oceanic fisheries). These figures also include the highly productive estuarine fisheries (Claro *et al.*, 1994). Nevertheless, the deployment of artificial reefs in suitable areas may increase the potential catches to a level comparable with areas mostly covered by natural reefs.

In the Gulf of Batabanó, fishing operations take place in only 40% of its area. Exploratory surveys have shown that the fishable area might be increased by at least 4 000-5 000 km². Assuming a conservative estimated fishing yield of 1 ton/km², the fish production of the gulf might be increased by 4 000-5 000 tons annually. In other regions, extensive areas with low productivity that are currently exploited, can also be targeted for increased fishery yields by means of artificial reefs.

In addition, evidence indicates that food supply is a limiting factor for the increase of fish biomass on the Cuban shelf. For example, it is known that several species from the Campeche Bank, Venezuela, or Brazil exhibit higher growth rates than in Cuba (Claro and García-Arteaga, 1994). The lack of a hard substrate for the attachment and growth of algae and invertebrates and of

shelter along large areas, has undoubtedly affected food availability (most Cuban coastal fishes are carnivorous). Therefore, the extensive establishment of artificial habitats must be accompanied by actions providing a balance between food availability and abundance of target fishes.

Recruitment is also an important consideration in the creation of a large-scale program on artificial reefs. This process should increase proportionally to the creation of new fish habitats and the expected harvest rate. However, as we mentioned above, most commercial species of the area (mainly snappers) are caught before they reach sexual maturity. Furthermore, the fishing methods used during fish spawning runs (set nets) prevent spawners from reaching the breeding sites. On the other hand, some less valuable species that compete with snappers for food and space (e.g., grunts), are not fished as intensively and also have a high reproductive rate. Both factors benefit grunts, instead of the target species, in the colonization process of natural and artificial habitats. In addition, juvenile stages of many species are major food targets for predators on shallow areas. Artificial reefs targeting young fish could be an effective method for enhancing these early stages.

Coral reefs are among the most productive ecosystems of the planet (Odum, 1971). Although most of the biomass they accumulate is not directly consumed by humans, many of these organisms are food targets of commercially significant species. Such a high production of biomass is partially due to the complex structural configurations of reefs which provide shelter to thousands of organisms, facilitates entrapment of organic matter, and enhances primary and secondary productivity. Therefore, we believe that artificial reefs might enhance biological productivity in extensive, flat areas of the shelf. However, it is likely that the amount of fish that could shelter in the refuges exceeds the feeding capacity of the ecosystem, which in turn would become a limiting factor for fish abundance. Several authors (Coustalin, 1971; Duval and Bellan-Santini, 1982) initiated experiments aimed at creating artificial substrates that could generate enough food for the maximum potential carrying capacity of the ecosystem. Those substrates (Fig. 11) should be capable of forming a new habitat ensemble where the refuge would work also as a food dispenser for the local fish populations. Such structures must be designed so the predators could not eat the organisms residing within the cavities, but just the excess that migrate to the periphery (Coustalin, 1971). Thus the structure may turn out to be a permanent supplier of food for fishes.

During an experiment conducted by our research team at the Gulf of Batabanó, 40 plastic net bags filled with stones and ceramic pieces were placed over seagrass beds. Three months later, the biomass attached to the rocks and bags was 40 times higher than the one reported by Gómez *et al.* (1980) for the same benthic area, and even 580 times higher after 21 months. We saw many small fish approach the structures seeking food and shelter.

Artificial substrates for algae and invertebrates can also work as a refuge for juvenile fish of some species and so contribute notably to recruitment.

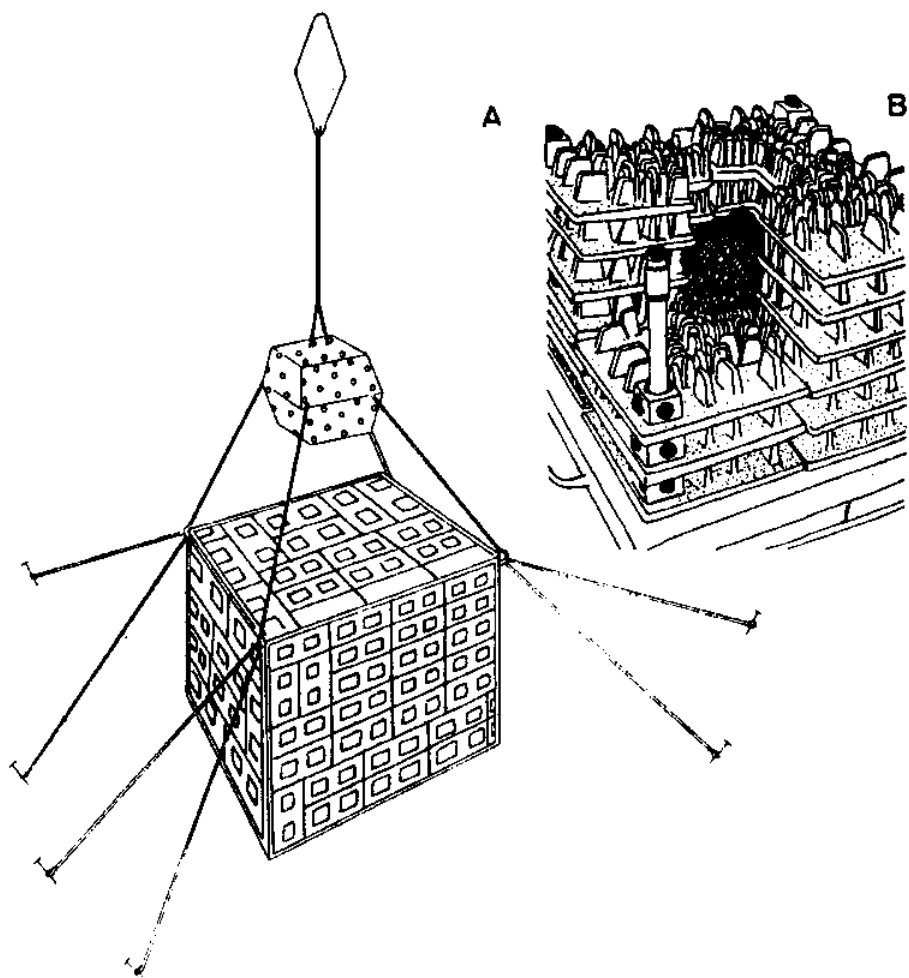


Fig. 11. Artificial substrates designed for the creation of a habitat capable of increasing the biomass and productivity of the ecosystem. A - after Coustalin (1971); B - after Duval *et al.* (1982).

The use of these structures combined with refuges for commercially sized fish might increase the biological and fishery productivity of the shelf.

In summary, we suggest that the extensive employment of artificial refuges on the Cuban shelf should be based on three basic principles not considered so far:

a) Artificial reefs should aim to create a habitat that can insure the increase of local biological productivity so dependence on energy transported from distant areas can be reduced. In such a way, the refuge would become a biomass generator rather than just a fish aggregator. This is only possible through the creation of an extensive system of structures with high densities and shelter capacities. This system should represent a true reef, differing from the goals and sizes of the current *pesqueros*, which are just simple aggregating devices.

b) Food supplies for fishes might also be enhanced by artificial reefs that create a habitat similar to a coral reef and offer food for benthic organisms, which are food targets for fish. For this purpose, a new kind of habitat must be created.

c) An adequate balance between the increase of refuge capacity, fishery harvesting and recruitment must be established. To achieve this, the ratio between the population size of species of great interest (snappers) and their competitors (grunts and others) should be monitored, the breeding processes of selected species should be protected, and the shelter capacity within the nursery areas should be preserved by creating artificial reefs targeted for juveniles, and a juvenile restocking program should be developed.

Definition of Objectives

Analysis of the current status of exploitation of shallow water fishery resources in Cuba allowed us to identify some major objectives that may direct the development of a national program for artificial reefs. These objectives are summarized as follows:

- Increase the biological and fishery productivity of the shelf.
- Restore the overfished lane snapper population in the Gulf of Batabanó and prevent overharvesting of the ecosystem.
- Protect and enhance stocks of gray, cubera, mutton, and yellowtail snappers as well as other coastal species.
- Increase utilization of areas currently having a low level of exploitation throughout the four regions of the shelf.
- Increase the utilization of coastal pelagic fishes, mostly jacks and scombroids.
- Facilitate the protection and management of fishery resources.
- Contribute to increasing the profitability of the fisheries units.
- Promote the development of extensive mariculture.
- Contribute to organizing recreational fishing, and changing it into an activity beneficial to the nation.

Means to Achieve the Objectives

In order to accomplish the goals mentioned above, although they are not the only ones, specific actions are required:

- Gradually replace the use of fish aggregating structures (*pesqueros*) with multi-refuge systems, and maintain the former only in locations where it is not feasible to employ fishing gears for catching isolated and well-conserved stocks, or where the use of artificial reefs is not recommended.
- Establish artificial reefs in all areas with suitable conditions, employing structural types according to specific local conditions while targeting the dominant or most valuable species. The structures recommended hereafter might be used initially, while more effective forms are being designed.

- Zonation of artificial habitats, linking the fishing boats and fisheries units with their construction, deployment, exploitation and conservation.
- Design, develop, construct and place structures targeting juvenile stages of the most valuable species (mainly snappers).
- Design, develop, construct and place structures that promote the production of live food for the fish that inhabit artificial reefs as well as to enhance the biological production of the ecosystem.
- Locate artificial reefs in selected areas for promoting recreational fisheries for local residents and tourists.
- Develop a research and monitoring program for improving the methods and techniques of harvesting the system.

At first, primary efforts should focus on the construction of artificial reefs in the Gulf of Batabanó, where there is experience in the use of *pesqueros* and where it is easier to assess the results and develop new methods, although other experiments can be conducted in other zones.

Structures made of tires, which are more available in this stage, may be produced and used first. Meanwhile, design and experimentation using other prototypes and concrete structures is suggested for different environmental conditions, according to specific targets. The use of fish aggregating refuges in selected areas may be conducted following the experiences from the Gulf of Batabanó.

Methodology for the Implementation of a National Program

Considering the premises stated in the section “Structures, shapes and sizes” (the available resources of the country, the behavioral features of the major species, and the environmental conditions) we propose the development of a national program of artificial reefs for fish with the use of three main types of materials: mangrove branches (with restrictions), tires, and specially-designed concrete structures. Each of these materials will be used according to specific objectives, namely:

*Mangrove *pesqueros*.* These structures will be used as fish aggregating devices, combined with tires and other structures, and only in areas without adequate conditions for other type of artificial reefs, and in locations or habitats where fishing gears cannot access fish stocks. In such cases, refuge density should not be higher than 0.3 units/km².

Each artificial reef will have a limited number of aggregating devices to facilitate the fishing operation. These “attractors” or aggregating devices will consist of a mangrove *pesquero* near a large tire or concrete structure.

The use of mangrove *pesqueros* should be coordinated with the Ministry of Agriculture, Department of Protection of Flora and Fauna, in order to establish methods and standard rules for exploitation as well as conservation

of mangrove resources. The *pesquero* model used in the Gulf of Batabanó has demonstrated high efficiency and easy construction, so we suggest keeping it as a prototype. A crew of eight men can construct an average of eight units per day.

Tire refuges. According to the experiences of the fishermen operating in the Gulf of Batabanó, tires refuges are good fish attracting devices provided that they are located over seagrass beds; they don't work very well over sandy areas. This criterion must be examined further, although this might not be important as they will be used as artificial reefs instead of as "aggregators".

Due to their lightness and shape, tires should be drilled with special tools in order to remove trapped air. It is more practical to "drain" the air from each tire with a hose, after the whole set of tires is dropped into the water surface. Sometimes the refuge needs ballast. The tires can be filled with concrete, or cement molds (Fig. 4). In areas with strong surge and currents, reinforced concrete structures are recommended rather than tires.

Experiences in the Gulf of Batabanó show that the most effective refuges are those formed by 18 large tires (more than 1 m diameter) arranged so the majority remain vertical. Tires lying horizontal on the bottom work better for aggregating lobsters than fishes.

A more stable configuration was designed by our research team (Fig. 12). Although it is made up of only 11 tires, it occupies a volume equal to or larger than the system previously described, and has a greater number of refuges. Five years experience in commercial harvesting of eight units shows that they are able to aggregate equal or greater amounts of fish than those constructed with 18 tires. Nevertheless, its construction is more complicated and requires special equipment for drilling and assembling the tires.

Figure 13 shows a simpler way to assemble the module with cables or galvanized chain, with the units arranged as in the previous design, but much shorter. This arrangement allows one to determine the size of the refuge by modifying the number of tires. This system, originally designed as a floating

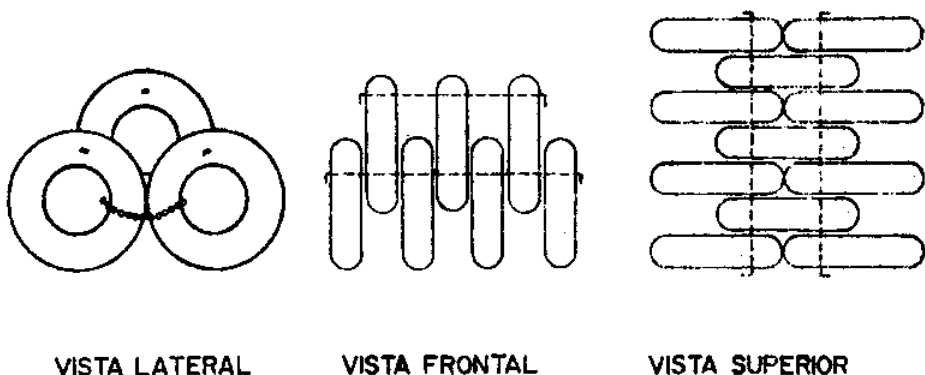


Fig. 12. Refuge constructed with 11 tires of 1-1.2 m diameter, assembled with steel bars. Lateral view, frontal view, aerial view.

refuge (Fig. 14) with small tires (Candle, 1983), turned out to be very practical for bottom-sitting refuges having larger units. Due to the simple and inexpensive assembly of this design, it is recommended for constructing modules of 13 and 25 units for artificial reefs, and for floating devices of 18 units.

Concrete structures. The installation of concrete structures is especially recommended for rocky or sandy areas with very clear water, and strong currents or surge. A module assembled with concrete poles was designed

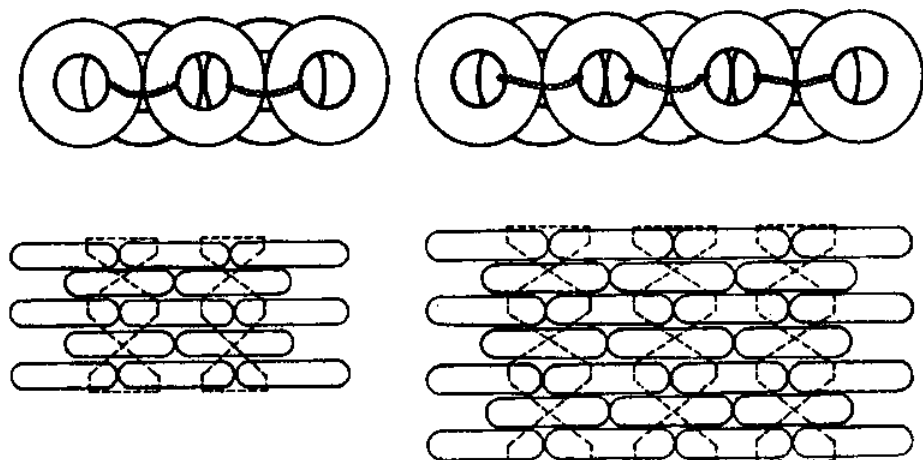


Fig. 13. Refuges constructed with 13-15 tires, recommended for the establishment of artificial reefs in some areas of the Cuban shelf.

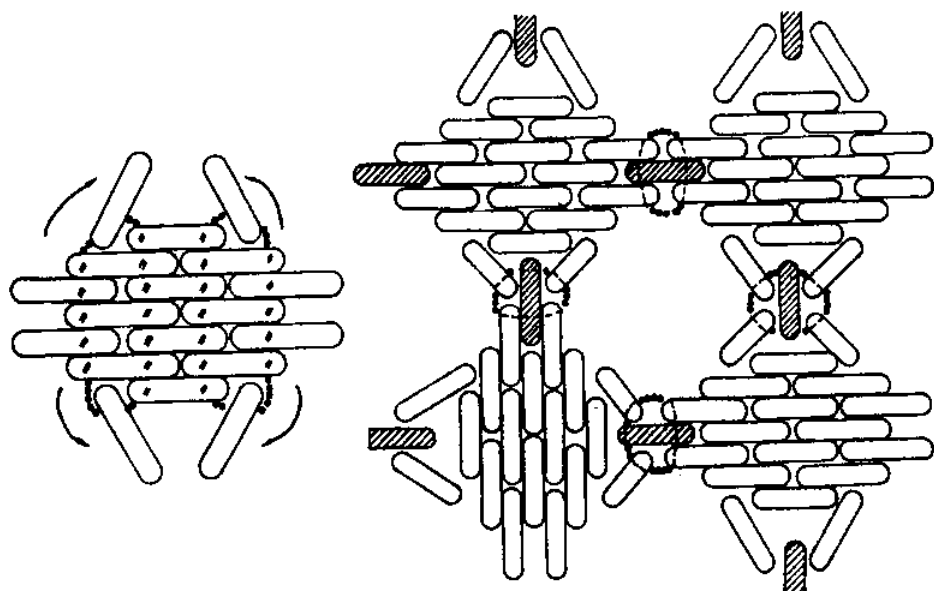


Fig. 14. Floating refuges made of small tires for aggregating pelagic fishes (after Candle, 1983).

(Fig. 15), resembling one of the most productive types of *pesqueros* used in the Gulf of Batabanó (Fig. 6). This structure may be subjected to experimentation soon, although other prototypes should be designed in order to determine the most appropriate.

Configuration of an Artificial Reef

In most locations, artificial reefs should target reef fish (mainly lane, cubera, gray, mutton and yellowtail snappers, and groupers) and some pelagic-neritic species (various jacks, Atlantic bumper, and mackerels). Thus we anticipate a combination of bottom and floating structures with a density and distribution according to the conditions of the Cuban marine ecosystem. In

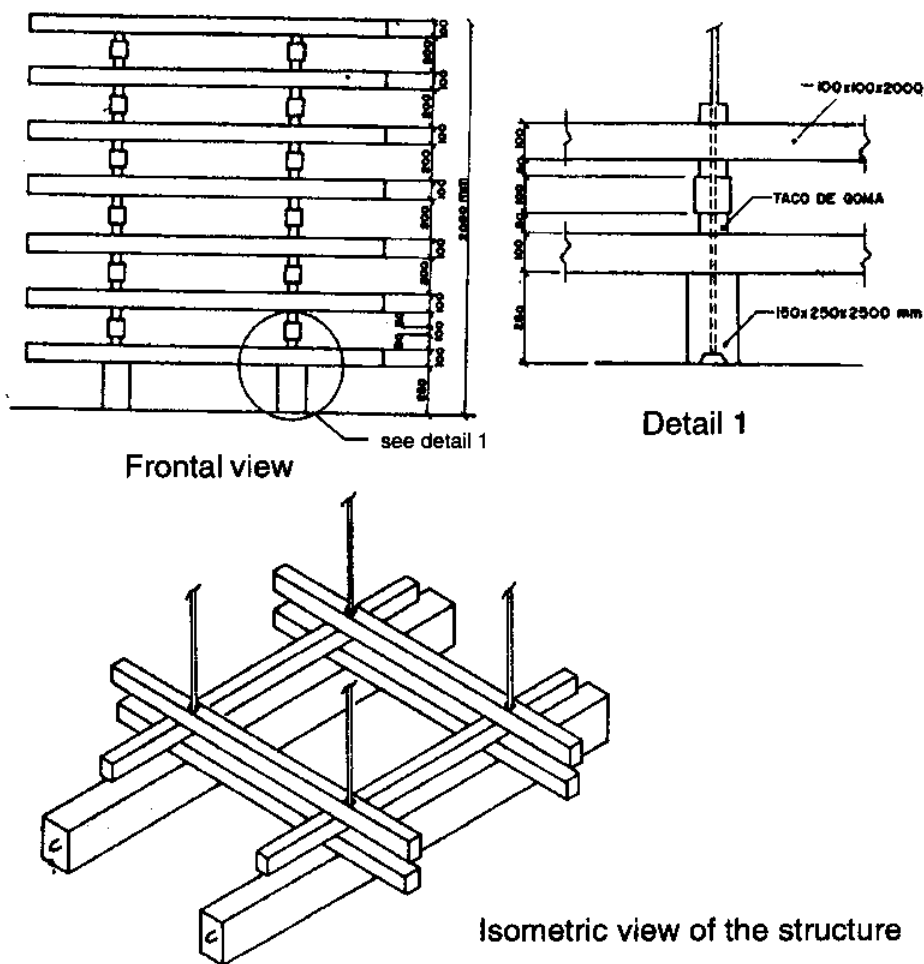


Fig. 15. *Experimental artificial reef made up of concrete poles, designed for areas dominated by surge and strong currents.*

order to define the configuration of artificial reefs, some factors were considered, namely: a) most reef fishes (principally snappers) live near the bottom in association with structures, and perform feeding migrations to the neighboring seagrass beds. Therefore, they do not need high structures, but abundant refuges, although the shallowness of the water impedes the use of large structures; b) scattered structures seem to be more adequate than the piled ones, as they provide more and varied refuges and facilitate access to feeding areas; c) some pelagic species (jacks) feed over the reefs; so adding floating devices might contribute to their attraction to reef fishing spots.

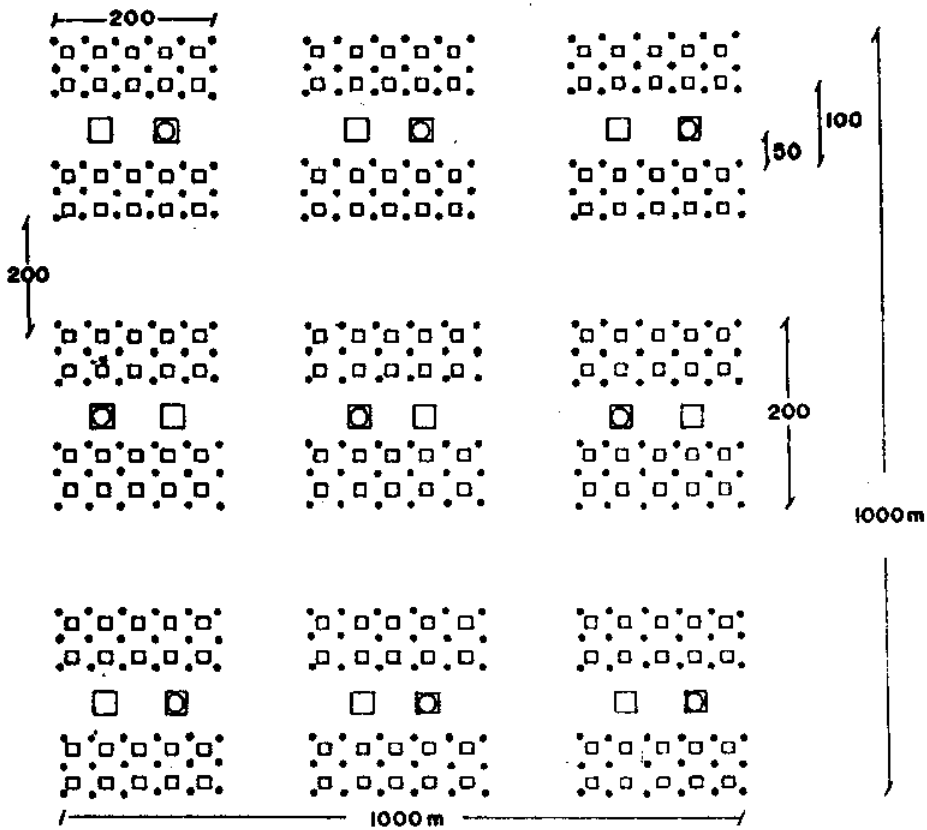
Since there is no background on the usage of true artificial reefs in Cuba, the model described hereafter is still experimental. Experiments with the density and distribution of units will be designed in order to determine the most adequate system. We have also considered the potential fishing gears. For instance, the modules will be aligned (Fig. 16), so that a set of fish traps can be deployed parallel to the reef. This arrangement will allow fishing over the *pesqueros* (designed to aggregate large fish) located in the middle of the fringe running along the reef. This seine is not selective, so its use must be regulated. These central *pesqueros* will be the only ones accompanied by floating devices for pelagic fish.

Each artificial reef will consist of 9 blocks, each formed with 20 small refuges arranged in four lines of five units, and with two larger refuges in the central corridor. Each unit should be surrounded, as much as possible, by substrates for algae and invertebrates (Fig. 10).

The total area of one block will be 40 000 m² (0.04 km²); the distance between blocks should be about 200 m, so the overall area of the reef will comprise approximately a 1 km² area and 2 300 m³ volume. Meanwhile, one reef per 8-12 km² area along the north coast and the southeast section of the shelf; and one reef per 20 km² in the Gulf of Batabanó, are suggested. In the latter zone, extended sandy areas are dominant and most seagrass beds are currently exploited with artificial habitats for lobster (known locally as *casitas cubanas*). Such densities can be increased in the future, depending on the results.

Delineation of Areas with Suitable Conditions for the Establishment of Artificial Reefs

A shallow-water habitat review was conducted in order to generate a preliminary map of the perspective areas and define the structures for each one. To accomplish this, nautical charts, research data on the distribution of superficial sediments (Ionin *et al.*, 1977) and benthic organisms (Gómez *et al.*, 1980; Alcolado *et al.*, 1990; Jiménez y Alcolado, 1990), and our own



□ Large refuge (~28.7 m³)

□ Small refuge (~10 m³)

○ Floating refuge

• Refuge for invertebrates and small fishes

Fig. 16. Configuration of an artificial reef and arrangement of the refuges within.

observations obtained through fishermen interviews, were used. In addition, underwater surveys over numerous stations were conducted. The surveys included the following attributes: transparency, depth, sediment, type of vegetation, macrobenthos type and associated fish fauna. These surveys allowed us to select those regions deemed to possess the minimal suitable conditions according to the criteria previously stated.

The delineated areas are presented in 1:150 000-scale charts with bathymetry contours. These charts do not include all feasible areas for the establishment of artificial reefs, but the most feasible, since examination of the whole shelf was not possible. Unfeasible sites (or habitats) within the delineated areas might occur (for example, patches of soft sediments). Nevertheless, we did not attempt to specifically locate each refuge, but delineated potential zones for the development program. The deployment of each reef will require additional decisions on site. We followed the conventional division of the Cuban shelf into 4 geographic zones. Each area was further broken down into portions of approximately 30x43 km, so that each one fits within a letter-size paper sheet (see details in Fig. 17). The two larger zones are emphasized in this paper (Fig. 17). Specific data for each smaller zone was developed. The information for these smaller zones included the following features: extension of the feasible areas for artificial reef development, potential number of artificial reefs and aggregating refuges estimated through research experimentation, and types of structures most recommended. Maps of these smaller zones were submitted to the Ministry of Fisheries for their examination. Due to their size and limited interest, we did not include them in this paper. The characteristics of each zone are summarized hereafter.

Zone A (Gulf of Ana María and Gulf of Guacanayabo)

The southeast zone of the Cuban platform stretches from Maisí Point to Casilda. However, the section between Maisí and Cape Cruz is not adequate for the establishment of artificial reefs since it has no shelf, and is dominated by submarine terraces and complex topography. Floating or middle water structures for aggregating pelagic fish (tuna, billfish, jacks, etc.) might be used in this region.

Zone A includes the gulfs of Ana María and Guacanayabo, with an area of 17 922 km². This region has the greatest depth of the Cuban shelf (up to 30 m). The Gulf of Guacanayabo has two inner basins separated by the Great Bank of Buena Esperanza. Aleuritic sediments colored gray and greenish gray covers the inner part of the gulf. This color becomes lighter as you move away from the rivers mouth (Ionin *et al.*, 1977). Estuarine conditions with soft sediments, sparse or no vegetation, and very turbid waters are dominant and don't present good conditions for artificial reefs. Part of the Gulf of Guacanayabo (the Key Cabeza del Este-Cape Cruz section), unlike other regions of the shelf, is not bordered by keys and reefs, but just by a steep slope. The bottom is sandy, of organic origin, with fragments of corals and mollusk valves. In some areas it

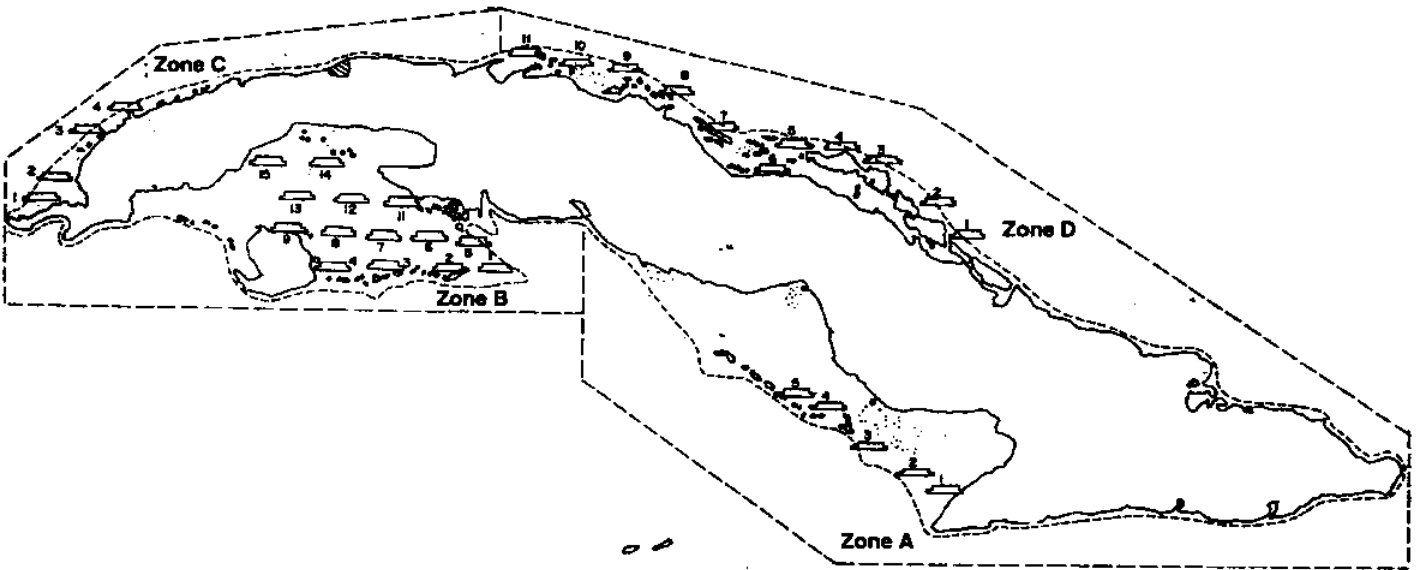


Fig. 17. Location of areas suitable for the establishment of pesqueros for fishing. Each number represents the smaller zones whose artificial reef distributions were proposed to the Ministry of Fisheries.

is covered by *Halimeda* remains and sparse seagrass. In this area, a great expanse (about 1 300 km²) is suitable for the establishment of artificial reefs. The water is not clear enough and there are no reference points, so the refuges must be marked. This region requires heavy concrete refuges, as surge and currents are strong. In the Granma province (from Belice to Cape Cruz) seagrass beds seem to be adequate for tires refuges (with ballast). However, the effect of hydrological conditions requires further study.

The Gulf of Ana María is fringed by coastal lagoons and estuaries along the mainland, but separated from the open ocean by an array of keys and reefs. The sediment layer is largely uniform and composed of gray sandy mud with mollusk valves. To the south, the mud is lighter due to the increase in calcium carbonate content. Typically, the bottom is poorly compacted and lacks vegetation. This region, together with the inner part of the Gulf of Guacanayabo, constitutes the major shrimp trawling area of Cuba. This is reason enough to reject the area for artificial reefs. Nevertheless, the high productivity of the area justifies an additional effort to delineate small polygons, close to the keys and mainland, where no shrimping occurs and where the bottom type allows the dispersal of isolated refuges for fish aggregation.

Some limited areas with rocky bottom and sparse seagrass (as is the case of the Great Shoal of Buena Esperanza) were identified for deploying refuges. They could attract fish from the large shallow reefs where fishing operations are not feasible. The delineation of such areas might be conducted by local fishery units, provided they meet the recommendations stated above. In both gulfs, floating devices for scombroids and jacks would be very appropriate.

In sandy seagrass patches at the outer edge of the Gulf of Ana María, some refuges may be located in order to attract nearby reef fish. Close to the long array of keys named Doce Leguas, on its inner side, areas with seagrass and mud sandy bottoms are located. They seem to be suitable for lighter artificial reefs, made with ballast tires. No surveys were conducted north of Caballones Key and Grande Key. However, during interviews, fishermen suggested that there is a fringe close to the keys, up to Breton Key, with good areas for artificial reefs.

An overall area of 1 742 km² with suitable conditions for artificial reefs at the southeastern shelf of Cuba, was delineated. This area could be eventually increased up to about 2 000 km².

Zone B (Gulf of Batabanó)

The Gulf of Batabanó is the largest section of the Cuban shelf (about 20 870 km²). In this zone, depths range from a few centimeters near shoals and keys to 15 m in the channels. The gulf is fringed by the Insular Group Los Canarreos, and by barrier reefs, forming an inner sea or macrolagoon. Five regions can be distinguished according to the distribution of sediments: 1) the eastern region, with oolite-dominated sand; low or very low density seagrass

beds, and limited particulate organic matter; 2) the central region, with unstable, white, muddy-sand carbonate sediments, with a slow and unstable accumulation rate, rich in biogenic components, scarce seagrass biomass and organic matter becoming more abundant close to the keys; 3) the western region, with land-originated brown gray to dark carbonate sandy-mud sediments with high content of organic matter, and high rate of deposition; with medium to high amounts of vegetation; 4) the Broa Cove, dominated by gray clay carbonate mud with slow deposition processes, low organic content, lack of macrovegetation, and turbid water; 5) along the north and northwest of the Isle of Youth, a strip of silicate sediments, gray to dark-gray in color, rich in organic matter, with seagrass beds of medium to high density but totally absent in some areas (Ionin *et al.*, 1977; Alcolado *et al.*, 1990). The eastern and central regions of the gulf are large areas of low production due to the absence of natural reefs and therefore support little fishery activity, except areas near the keys, where patch and artificial reefs are harvested.

As long as the depth permits, almost the entire gulf is suitable for artificial reef establishment with the exception of Broa Cove. However, this area has potential for the establishment of floating aggregating devices for species such as kingfish (*Scombroidae*), crevalle jack, and blue runner (*Carangidae*), and other pelagic fishes.

Near the keys within the macrolagoon, there are dense seagrass beds suitable for setting artificial reefs that aggregate fish species that are abundant on mangroves (mostly gray, lane, cubera and dog snappers) and barrier reefs.

Since the spiny lobster fishery is very successful in the area (partially because of the use of *casitas cubanas*), in the first stage, reefs for fishes must be placed in areas with few or no lobster aggregating refuges. For such areas we propose a density of half that of non-lobster areas. There is no evidence suggesting the existence of competition, predation or any other factor preventing the establishment of both types of artificial habitats in the same area. Nevertheless, further studies are necessary. A 10 000 km² area was identified as suitable for the establishment of 500 artificial reefs.

Zone C (Northwestern Region)

This region stretches from San Antonio Cape to Hicacos Point, although the shelf just reaches Honda Bay. From this location east to Hicacos, a narrow submarine terrace with complex relief and no conditions for the establishment of artificial reefs is found. An area of 3 949 km² is estimated. In its most important region, the Gulf of Guanacahabibes, three sub-regions are delineated: 1) just along the shore, low-carbonate, aleuritic and clay mud with remains of mollusk valves are deposited. From Cajón Point in the north part of the peninsula, to Plumaje Point in the east, there is a rocky bottom with octocorals and sponges, together with medium to dense *Thalassia* beds close to the coast; 2) at the center of the Gulf, carbonate biogenic sediments are

deposited, but in the eastern half, towards the Guadiana Cove, the bottom is sandy-mud to mud, with abundant remains of calcareous algae (*Halimeda*) and mollusk valves, the bottom is firm in the middle, but increasingly softer towards the east. Vegetation is scarce or absent. In the middle of the basin, reefs are abundant and rise vertically to 4-10 m beneath the surface in the shapes of circles or barriers. In the center of those formations, the bottom is not firm as it is composed of fine sediments trapped within the reefs. From the middle of the Gulf to the east coral and shell sand stretches parallel to the reef; the bottom is firm, and the water is more transparent than in the rest of the gulf.

The coastal area in the north of the Guanahacabibes Peninsula and the sandy bottom bordering the reef has favorable conditions for the establishment of artificial reefs. In the coastal area at the south of Buenavista Key, a potential area is also found. However, since the bottom is not solid, light but well-weighted reefs must be used as the swell can be strong in winter.

The narrow shelf stretching to the east of the Gulf of Guanahacabibes, from Buenavista Key to Honda Bay, is covered by muddy sand, so the concentration of mud and sand increases towards the coast and the reefs respectively. The seagrass bed density follows the same pattern. In this region, relatively small areas with conditions suitable for the establishment of artificial reefs are found.

Due to surge, heavy refuges (concrete or tires with ballast) should be used at many locations in Zone C. However, before deploying the tires, their stability should be tested in rough winter seas and stormy weather.

An overall area of 800 km² for the development of artificial reefs is estimated in Zone C.

Zone D (Northeastern Region)

This region stretches from Hicacos Point to Maisí Point, is 6-33 km wide with an area of 10 115 km². The Insular group Jardines del Rey or (Sabana-Camagüey) fringes the shelf along 550 km. This chain of islets and keys delineates a shallow inner lagoon (0.2-3 m deep) with abundant shoals restricting the navigation and ocean water exchange. The effect of terrestrial runoff is notable as a soft muddy bottom, and murky waters (inadequate for the establishment of artificial reefs) are the prevailing conditions.

A narrow fringe of rocky bottom or coarse carbonate sand stretches along the northern part of the keys up to the shelf border. However, the mud proportion in the sediments increases towards the coast. In these areas, seagrass beds are found they are fairly dense in some locations. In the outer border of Zone D, important areas for the establishment of artificial reefs were located. Relatively tall concrete structures are recommended in most of the region due to the prevailing climatic and hydrological conditions. In some inner zones, small locations with suitable conditions for the establishment of tire and

pesquero refuges were found. The section stretching from Nuevitas Bay to Maisi Point is a coast of tectonic-origin without a shelf characterized by submarine terraces throughout. This topography is inadequate for the establishment of artificial reefs. Nevertheless, the potential for deploying floating aggregating devices for pelagic fish must be explored. These refuges should be easily transportable, since the rough conditions of the sea in the region (strong waves and winds) do not allow the settlement of permanent structures. In some of the large bays of the region, we found small areas suitable for fish aggregating refuges. Due to the prevailing rough seas, and given that there is no previous experience in the use of *pesqueros* in this region, the use of ballast tires should be tested before making any decisions on the proposed areas. The overall estimated area identified for development is 1 279 km², and 160 artificial refuges can be placed on it.

Given the intense fishing effort applied to this region, a reduction and control of fishing activity is necessary as soon as the artificial reef program gets started. In the first stage, the aggregating devices could increase fish vulnerability and facilitate over-exploitation.

Feasibility of the Development Program

The extent of the area we propose for the development of a national program of artificial reefs for fishes is 13 518 km². With the proposed density, 851 reefs comprising 168 to 190 demersal and 7 596 pelagic refuges can be deployed. Although these figures are just a first estimate and do not cover all the possibilities, they suggest the enormous magnitude of the work involved and the necessity of developing a long-term program, according to the present and future outlook of the country. At the same time, a research program is necessary. This program will aim to: improve the methods for harvesting artificial reefs according to the characteristics of each region, assess the environmental impact of the system, develop methodologies for maximizing biological and fishery productivity, and establish an organized fishing system that can guarantee the conservation and rational exploitation of the resources in each zone.

A homogeneous distribution and a low density of artificial reefs is suggested for the areas selected for starting the program. A subsequent and gradual increase in the developed areas should maintain that premise.

In the regions targeted for tourism development, potential areas for recreational fisheries should be selected. Specific inventories should be conducted in order to delineate such areas and determine the type of artificial reefs that can be used, according to the habitats and harvesting methods they require.

Acknowledgments

We acknowledge the fishermen, the fisheries biologists of the "Boards of Capture" (a management advisory group within each fisheries unit in Cuba) and the administrative staff of the Empresa *Pesquero-Industrial* of Batabanó, Isla de Juventud, Pinar del Río, Matanzas, Cienfuegos, Caibarién, Manzanillo, and Santa Cruz del Sur, for their collaboration during the surveys and data gathering. In addition, we thank Victor Isla, Jorge L. Hernández, Macario Esquivel, and Dr. Luis M. Sierra for their assistance with the interviews and data collection.

References

- Alcolado, P. M., et al. (1990): Aspectos ecológicos de la macrolaguna del Golfo de Batabanó, con especial referencia al bentos. En *El bentos de la macrolaguna del Golfo de Batabanó* (P. M. Alcolado, ed.), Ed. Academia, La Habana, pp. 129-155.
- Alfieri, D. J. (1975): Organismal development on an artificial substrate. July 1974. Estuarine Coastal. *Mar. Sci.*, 3:465-472.
- Baisre, J. A. (1985): Los recursos pesqueros marinos de Cuba: fundamento ecológicos y estrategias para su utilización, tesis de candidatura, Autoepitome, 17 pp., 9 ilus., 1 tabla.
- Bohnsack, J. A. (1989): Are High densities of fishes at artificial reefs the result of habitat limitation or behavioral preferences? *Bull. Mar. Sci.*, 44(2):631-645.
- Bustamante, G., J. E. García-Jorge y J. P. García-Arteaga (1982): La pesca con chinchorro en la región oriental del Golfo de Batabanó y algunos datos sobre las pesquerías en la plataforma cubana. *Rep. Invest. Inst. Oceanol., Acad. Cien. Cuba*, 4:1-31.
- Candle, R. D. (1983): Scrap tires as artificial reefs. En *Initial Draft of the Proceedings for artificial reefs in the Great Lakes*, pp. 1-14.
- Carpenter, J. S. (1977): Philippine coral reef fisheries resources. *Philipp. J. Fish.*, 17:95-125.
- Claro, R. (1981): Ecología y ciclo de vida de la biajaiba, *Lutjanus synagris*, en la plataforma cubana. II. Biología pesquera. *Inf. Cien.-téc. Inst. Oceanol. Acad. Cien. Cuba*, 177:1-53.
- Claro, R., J. A. Baisre y J. P. García-Arteaga /en prensa/: "Pesquerías". En "Ecología de los peces marinos de Cuba" (R. Claro ed.), Ed. Academia.
- Claro, R. y J. P. García-Arteaga /en prensa/: "Crecimiento". En "Ecología de los peces marinos de Cuba" (R. Claro, ed.), Ed. Academia.
- Claro, R., J. P. García-Arteaga; E. Valdés-Muñoz y L. M. Sierra /en prensa/: "Alteraciones de las comunidades de peces en relación con la actividad pesquera". En "Comunidades de peces del Golfo de Batabanó" (R. Claro, ed.), Ed. Academia.
- Claro, R. y E. Giménez /en prensa/: "Desarrollo y estado actual de las pesquerías de peces en la región Este del Golfo de Batabanó". Ed. Academia, La Habana.
- Coustalin, J. B. (1971): Methodologie experimentale en vie de la creation de recifs artificiale. *Thethys*, 3(4):827-840.
- Dale, G. (1978): Money in the bank: a model for a coral reef fish coexistence. *Environ. Biol. Fish.*, 3:103-108.

- Duval, C. y D. Bellan-Santini (1982): Benthic artificial submerged buildings in the NW Mediterranean Sea. I. Construction of an experimental cavernous unit. *Thethys*, 10(3):274-279.
- FAO (1983): "Final report on formulation of a program for artificial reef setting" *Inédito*, Ministerio de la Industria Pesquera, Cuba.
- Fein, D. Ch. y M. Morganstein (1974): New Artificial Reef of Oahu. En *Proceedings of an international conference on artificial reefs*, pp. 51- 55.
- García-Arteaga, J. P., R. Claro, L. M. Sierra, y E. Valdés-Muñoz (1990): "Características del reclutamiento a la plataforma de los juveniles de peces neríticos en la región oriental del Golfo de Batabanó". En *Asociaciones de peces en los biótopos del Golfo de Batabanó* (R. Claro, ed.), Ed. Academia, La Habana, pp. 96-122.
- Giménez, E., R. Tizol y M. L. Hernández /en prensa/: "Uso y distribución de los arrecifes artificiales en Cuba". *Rev. Cubana Invest. Pesq.*
- Gómez, O., D. Ibarzabal y A. Silva (1980): "Evaluación cuantitativa del bentos en la región suroccidental de Cuba". *Inf. Cieent.-téc. Inst. Oceanol. Acad. Cien. Cuba*, 149:1-15.
- Green, M. (1982): "Enhancement of the marine environment for fisheries and aquaculture in Japan". *Washington Dept. Fish. Techn. Rep.* 69.
- Helfman, G. S. (1978): Patterns of community structure in fishes: summary and overview. *Environ. Biol. Fish.*, 3(1):129-148.
- Hilbertz, W. H. (1981): "The electrodeposition of minerals in sea water for the construction and maintenance of artificial reefs". En *Artificial Reefs: Conference Proceedings* (D. Y. Alaska, ed.), Fla Sea Grant Coll. Rep. 41, pp. 123-148.
- Hill, R. B. (1978): "The use of nearshore marine life as food resources by American Samoans". *Pac. Is. Stu. Progr. Univ. Hawaii*, 170 pp.
- Hixon, M. A. y Beets, J. P. (1989): Shelter characteristics and Caribbean fish assemblages: experiments with artificial reefs. *Bull. Mar. Sci.*, 44(2):666-680.
- Holbrook, J. E. (1860): *Ichthyology of South Carolina* 2nd edn. Charleston, 205 pp. (citado por Parker et al., 1974).
- Hunter, J. R. (1968): "Fishes beneath flotsam". *Sea Frontiers*, 14(5):280-288.
- Huntsman, G. R. y G. S. Manooch (1978): "Coastal pelagic and reef fishes in the South Atlantic Bight". *Mar. Recreational Fish.* 3. Pro. Int. Annual Mar. Recreational Fish. Symposium Norfolk, Va. (H. Clepper, ed.), pp. 97-106.
- Ionin, A. S., Y. A. Pavlidis y O. Avello-Suárez (1977): *Geología de la plataforma de Cuba / en ruso*. Nauka, Moscú, 215 pp.
- Jiménez, C. y P. M. Alcolado (1990): Características del macrofitobentos en la macrolaguna del Golfo de Batabanó. *El ventos de la macrolaguna del Golfo de Batabanó* (P. M. Alcolado, ed.), Ed. Academia, La Habana, pp. 8-13.
- Loder, C. T.; T. G. Rowe; H. C. Clefford (1974): "Experiments using boled urban refuse as artificial reef material". En *Proceedings of an international conference on artificial reefs*, pp. 56-59.
- Marshall, N. (1980): "Fishery yield of coral reefs and adjacent shallow-water environments". En *Stock assesment for tropical small-scale fisheries* (S. B. Sails y P. M. Roedel, eds.) Int. cont. Mar. Res. dev. Univ. Rhode Island, Kingston, pp. 103-109.
- Mathews, H. H. (1966): "Primary production measurements on artificial reef". *Thesis. Fla. Sta. Univ.*, 34 pp. (citado por Oren, 1968).
- Mochek, A. D. y E. Valdés-Muñoz (1984): Los arrecifes artificiales de los mares de diferentes latitudes. *Rep. Invest. Inst. Oceanol. Acad. Cien. Cuba*, 30:1-7.
- Munro, J. L. (1977): Actual and potential production from the coralline shelves of the Caribbean Sea. *FAO Fish. Rep.* 200:301-321.

- Munro, J. L. (1983): "Coral reef fish and fisheries of the Caribbean Sea". En *Caribbean Coral Reef Fishery Resources* (J. L. Munro, ed.), ICLARM Studies Review, 7:1-9.
- Odum, W. E. (1971): *Fundamentals of Ecology*. W. B. Saunders Co., Philadelphia, 574 pp.
- Oren, O. K. (1968): Artificial reefs, a short review and appeal. *FAO Fish. Circ.*, N. Frs/C 305, 6 pp.
- Parker Jr., R. O., R. B. Stone, C. C. Buchanan y F. W. Steimle (1974): "How to build marine artificial reefs". *Fish. Facts*, 10:1-46.
- Randall, J. E. (1963): "An analysis of the fish populations of artificial and natural reefs in the Virgin Islands". *Caribb. J. Sci.*, 3(1):31-47.
- Russ, G. (1984): A review of coral reef fisheries. *UNESCO Rep. Mar. Sci.*, 27:74-92.
- Sale, P. F. (1975): "Patterns of use of space in a guild of territorial reef fishes". *Mar. Biol.*, 29:89-97.
- Sale, P. F. (1978): "Coexistence of coral reef fishes - a lottery for living space". *Envir. Biol. Fish.*, 3:85-102.
- Sheehy, D. J. (1983): "New approaches in artificial reef design and applications". *Aquabio*, 13 pp.
- Sierra, L.; R. Claro y O. Popova /en prensa/: "Alimentación". En "Ecología de los peces marinos de Cuba" /R. Claro, ed./ Ed. Academia.
- Silva Lee, A. (1975): Observaciones sobre arrecifes artificiales usados para pescar en Cuba. *Ser. Oceanol., Acad. Cien. Cuba*, 26:1-13.
- Smith, C. L. y J. C. Tyler (1973): Direct observations of resource sharing in coral reef fish. *Helgolander Wiss. Meeresunters.*, 24:264-275.
- (1975): Succession and stability in fish communities of dome-shaped patch reefs in the West Indies. *Am. Mus. Novitates*, 2 572:1-18.
- Stevenson, D. K. y N. Marshall (1974): Generalizations on the fisheries potential of coral reefs and adjacent shallow-water environments. *Proc. 2nd Int. Symp. Coral Reefs*, Brisbane.
- Stone, R. (1972): General introduction to artificial reefs. *Proc. Sport Fishing Seminar. Coastal Plains Center for Mar. Develop. Ser. Seminar Ser.*, pp. 1-3.
- (1973): "Artificial reefs and coastal fishery resources". En *Proc. Tenth Space Congress*, pp. 19-20.
- (1983): "History of artificial reef use in the United States". En *Initial Draft of the Proceedings for artificial reefs in the Great Lakes-Michigan Sea Grant Coll. Prog.*, pp. 1-13.
- Stone, R.; C. C. Buchanan y R. O. Parker Jr. (1973): *Expansion and evaluation of an artificial reef of Murrells Inlet*, S. C. Final Report to Coastal Plains Regional Comision, 200L St. N. W. Suite 414 Wash. D. C. 20036, p. 55 (citado por Stone, 1973).
- Stone, R.; C. C. Buchanan y F. W. Steimle Jr. (1974): "Scrap tires as artificial reefs". U.S. *Environmental Protection Agency, Summary Report*, SW- 119, 33 pp.
- Unger, I. (1966): Artificial reefs a review. *Am. Littoral Soc., Special Pub.*, no. 4, 74 pp.
- Valdés-Muñoz, E. y A. Silva Lee (1977): Alimentación de los peces de arrecifes artificiales en la plataforma suroccidental de Cuba. *Inf. Cient. Tecn., Inst. Oceanol. Acad. Cien. Cuba*, 24:1-21.
- von Brant, A. B. (1972): *Fish catching methods of the World*. Fishings News Ltd. London, 240 pp.
- Wass, R. C. (1982): "The shoreline fishery of American Samoa -past and present". En: *Ecological aspects of coastal zone management* (J. L. Munro, ed.), Proc. Seminar on Marine and Coastal Processes in the Pacific. Motupore Is. Res. Centre, July 1980, UNESCO, Jakarta, pp. 51-83.

- Welcome, R. L. (1971): A description of certain indigenous fishing methods from Southern Dahomey. *Afri. J. Trop. Hidrobiol. Fish.*, 1(2):129-140.
- Westernberg, J. (1953): Acoustical aspects of some Indonesian fisheries. *J. du Cons.*, 18(3):311-325 (citado por Silva, 1975).
- Wickham, D. A., J. W. Wathson Jr. y L. H. Ogren (1973): The efficacy of midwater artificial structures for atrating pelagic spot fish. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 102(3):563-572.
- Wijkstrom, V. N. (1974): Precessing and marketing marine fish possible guidelines for the 1975-1979 period. En *Int. Conf. on Mar. Res. Develop. in Eastern Africa* (A. S. Msangi, y J. J. Griffin, eds.), Univ. Dar es Salaam and Int. Center Mar. Res. Develop., Univ. of Rhode Island, Kingston, pp. 55-67.
- Woodhead, P. M.; J. H. Parker y I. W. Duedall (1982): "The use of fly ash from coal combustion for artificial reef construction". *Aquabio*, 37 pp.

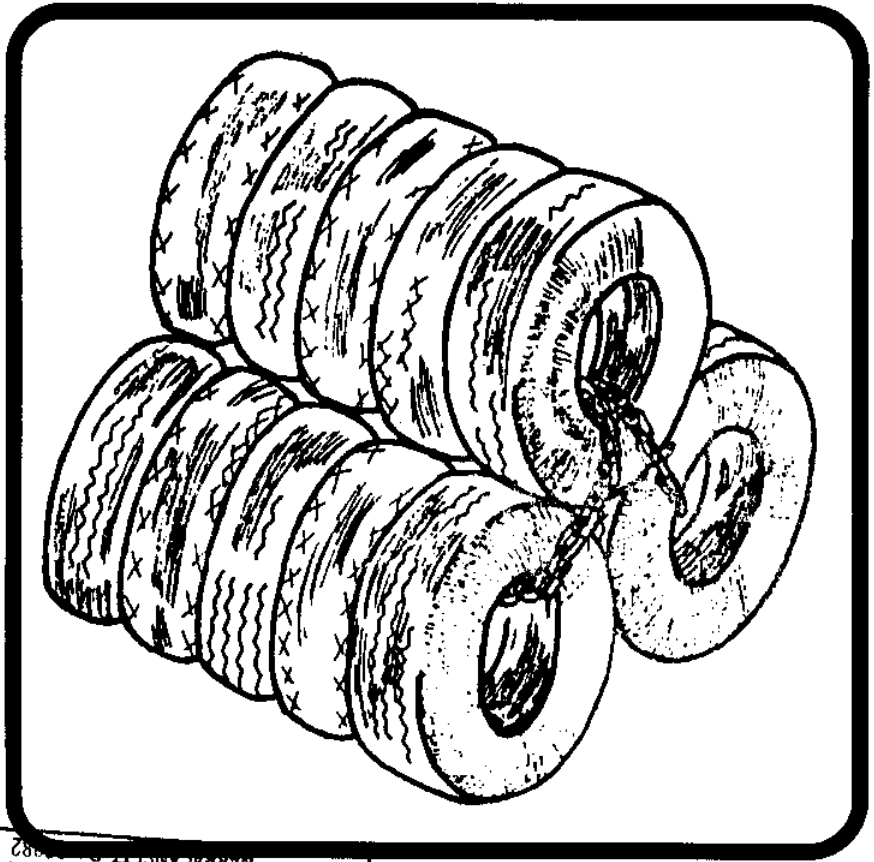


Florida Sea Grant College Program
University of Florida
PO Box 110409
Gainesville, FL 32611-0409
(352) 392-2801

or check out our home page at:

WWW.FLSEAGRANT.ORG

Perspectivas para un programa de hábitats artificiales para peces en la plataforma cubana



NATIONAL SEA GRANT DEPOSITORY
PELL FISHERY BUILDING
URI, NARRAGANSETT BAY CAMPUS
NARRAGANSETT, RI 02882

6661 6

JUL

Dr. Rodolfo Claro

Dr. Juan P. García-Arteaga

RECEIVED

Perspectivas para un programa de hábitats artificiales para peces en la plataforma cubana

por

Dr. Rodolfo Claro

y

Dr. Juan P. García-Arteaga,

Instituto de Oceanología, La Habana, Cuba

traducido al inglés por

Dr. Georgina Bustamante

Department of Biology - University of Miami, Miami, FL

and

Dr. Kenyon Lindeman

Coastal Research & Education, Inc., Miami, FL

© Rodolfo Claro and Juan P. García-Arteaga, 1989

© Editorial Academia, 1991

Original publicado por:

Editorial Academia
Industria No. 452
Havana 10200, Cuba

La presente edición:

Florida Sea Grant College Program, University of Florida
Gainesville, Florida, E.E.U.U.

Contenido

Resumen / v
Prefacio / v
Introducción / 1
Fundamentos básicos de los hábitats artificiales / 1
Experiencia internacional / 4
Experiencia nacional / 6
Métodos y técnicas para el empleo de arrecifes artificiales / 14
Localización de áreas / 14
Estructuras, formas y tamaños / 15
Configuración y densidad / 19
Costos y eficiencia económica / 20
Premisas del uso de refugios artificiales para peces en Cuba / 20
Fundamentación / 20
Definición de objetivos / 24
Actividades para el alcance de los objetivos planteados / 25
Metodología para la implementación de un programa nacional / 26
Configuración de un arrecife artificial / 29
Ubicación de zonas con condiciones para el establecimiento de arrecifes artificiales / 30
Zona A (Golfos de Ana María y Guacanayabo) / 32
Zona B (Golfo de Batabanó) / 35
Zona C (región NW) / 36
Zona D (región NE) / 37
Factibilidad de desarrollo del programa / 38
Reconocimientos / 38
Referencias / 39

Resumen

Se realiza un breve análisis de los principios básicos sobre los cuales se ha desarrollado el uso de arrecifes artificiales, y se ofrece un resumen de los métodos y técnicas aceptadas mundialmente. Se enfatiza la necesidad de una definición previa de objetivos a la hora de diseñar las estructuras, como vía para la proyección de programas a largo plazo. Se establecieron los siguientes principios: a) los arrecifes artificiales deben estar orientados principalmente al incremento de la producción biológica y pesquera de la plataforma cubana, lo cual introduce cambios sustanciales en los conceptos actuales que se basan exclusivamente en el aumento de la productividad por unidad de esfuerzo pesquero; b) se requiere el establecimiento de un adecuado equilibrio entre el esfuerzo pesquero y la capacidad de refugios, la disponibilidad de alimento y el reclutamiento de los peces. Como consecuencia, se argumenta el uso de arrecifes artificiales con gran densidad de cavidades para la promoción de la fijación de algas y la creación de un hábitat para invertebrados y peces, en sustitución de refugios que sólo sirven para atraer peces. Se propone una metodología para un programa nacional que incluya la definición de materiales, estructuras, configuración cantidad y distribución, en concordancia con los objetivos. Como resultado del análisis de los tipos de hábitats existentes en las cuatro secciones de la plataforma cubana, se definió una extensión de 13 500 km² con condiciones apropiadas para arrecifes artificiales y refugios aislados, en la cual es posible construir 850 arrecifes, cada uno formado por 200 refugios. Se recomienda el uso de arrecifes artificiales para la pesca recreativa en Cuba.

Prefacio

El empleo de arrecifes artificiales en los ecosistemas marinos costeros puede variar sustancialmente en diferentes regiones geográficas. Las investigaciones sobre el uso de refugios artificiales en el Golfo de Batabanó, la más importante zona pesquera de Cuba, comenzaron al comienzo de los años 1970's. Este trabajo ofrece una panorámica del uso de estas estructuras en Cuba hasta principios de los 1990's. Además, contiene el desarrollo de un plan coordinado para extender su uso a las demás zonas de la plataforma cubana. Al arrojar una luz sobre la literatura y los enfoques de los investigadores cubanos, esta edición bilingüe podrá ser de valor para aquellos que están trabajando en ambientes costeros semejantes.

Los autores han trabajado durante más de 20 años en un grupo de trabajo investigativo del Instituto de Oceanología. Algunas de sus perspectivas fueron fechadas teniendo en cuenta que esta traducción se realiza seis años después

de su publicación en 1991. Las referencias fechadas como "1994" en la traducción se listaron como "en prensa" en el original. Al momento de la traducción, el programa nacional desarrollado en el trabajo original no se había implementado.

Para aquellos que deseen información adicional sobre arrecifes artificiales, las memorias de la cuarta y quinta conferencias de hábitats artificiales para peces contienen un conjunto de más de 130 artículos con un amplio abanico de temas. Estos trabajos se publicaron en números especiales del *Bulletin of Marine Science* en 1989 y 1994. Más recientemente, el número de abril de 1997 de *Fisheries*, contiene una sección de hábitats artificiales. Existen también numerosos libros dedicados al tema. Para aquellos que deseen mayor información sobre los peces de Cuba, el libro *Ecología de los Peces Marinos de Cuba* recopila gran cantidad de datos sobre Cuba y otras áreas del Caribe. La revisión y traducción de este libro está en proceso. Algunas revistas científicas contienen publicaciones de los autores acerca los peces marinos de Cuba. Se listan a continuación algunas de ellas:

Claro, R. 1991. Changes in fish assemblage structure by the effect of intense fisheries activity. *Tropical Ecology* 32(1):36-46.

Claro, R. and J. P. García-Arteaga. 1993. Estructura de las comunidades de peces asociados a los manglares del Grupo Insular Sabana-Camagüey, Cuba. *Avicennia* 0:60-82.

Claro, R. and J. P. García-Arteaga. 1994. Estructura de las comunidades de peces en los arrecifes del Grupo Insular Sabana-Camagüey, Cuba. *Avicennia* 2:83-107.

El Dr. James Cato del Florida Sea Grant College Program aportó el financiamiento de esta traducción. Susan Grantham, Beth Schoppaul, Dr. Jim Bohnsack, Don Pybas y Oscar Monterrosa también contribuyeron con su ayuda. La Coastal Research and Education, Inc. aportó financiamiento adicional. Georgina Bustamante, agradece al Florida Sea Grant College Program y Coastal Research & Education la oportunidad de haber contribuido en el esfuerzo de poner a disposición de los lectores de habla inglesa, esta obra de los que han sido sus compañeros de trabajo científico por más de 20 años. Con limitados recursos, Rodolfo Claro y Juan P. García-Arteaga continúan trabajando en diversos temas de ecología pesquera en Cuba.

K. Lindeman and G. Bustamante

Introducción

La plataforma cubana se encuentra ya a un nivel de explotación pesquera cercano y en algunos casos más allá del máximo sostenible (Baisre, 1985; Claro *et al.*, en prensa). Por ello, la creciente necesidad de productos pesqueros obliga a elaborar nuevas vías para obtener el mayor beneficio posible de los recursos naturales acuáticos. Algunos incrementos, aunque no sustanciales, podrían obtenerse mediante un mejor manejo de los recursos, aunque las mayores perspectivas se vilumbran a través de la maricultura.

El uso planificado y controlado de refugios artificiales, debe contri buir, no solo a un mejor manejo de las pesquerías y a la conservación del medio marino, sino que además, constituye una de las formas más fáciles y seguras de la maricultura.

En los últimos 40 años se ha incrementado notablemente el uso de estructuras artificiales, más conocidas como "arrecifes artificiales", en algunos casos como elementos para atraer y concentrar peces y con ello facilitar su captura, y en otros, como medio para desarrollar una peculiar forma de semicultivo de peces, invertebrados y algas.

Valorando la importancia de estas técnicas y el interés mostrado por el Ministerio de la Industria Pesquera de Cuba, en desarrollar el uso de refugios artificiales en toda la plataforma cubana, se planteó como objetivos de este trabajo, por una parte, hacer una recopilación histórica y un análisis científico de la experiencia nacional e internacional, y elaborar así conceptos y criterios propios en cuanto a los principios que deben regir el desarrollo de esta actividad en nuestro país, de acuerdo con nuestras condiciones naturales y socio-económicas. Por otra parte, se planteó el propósito de realizar un inventario de todas las áreas de la plataforma con condiciones adecuadas para la instalación de estructuras artificiales. Ambos objetivos están orientados a establecer las bases científico-técnicas para la proyección del uso de refugios artificiales para peces a escala nacional.

Fundamentos básicos de los hábitats artificiales

La atracción de los peces a las estructuras artificiales (al igual que los arrecifes naturales) está dada por dos factores principales: el alto desarrollo del tigmotropismo positivo en los peces, como carácter adaptativo relacionado con su defensa contra enemigos y depredadores (Mochek y Valdés, 1984), y el desarrollo sobre el sustrato duro de una comunidad de organismos vegetales y animales que determinan las relaciones tróficas del biótomo (Alfiere, 1975). Otros muchos elementos relacionados con los dos anteriores provocan la atracción de los peces a los refugios, como el sonido provocado por el

movimiento del agua al pasar por las estructuras, o el producido por los organismos que viven en estas, su olor u otros factores que denuncien la presencia de alimento o refugio.

Los arrecifes artificiales proveen a los organismos marinos de refugios para protegerse de sus depredadores, áreas de calma o de movimientos favorables de las masas de agua (lo que les permite ahorrar energía), punto de referencia visual (muy importante para los peces que realizan migraciones diarias), les brindan sombra, les permiten el acceso a nuevas zonas de alimentación y nuevos territorios, incrementan así su distribución y abundancia, aumentan la superficie de fijación para algas e invertebrados que sirven de alimento a los peces, etcétera.

La gran abundancia de depredadores en las aguas tropicales, determinan relaciones muy tensas entre los organismos y por supuesto en tales condiciones, la cantidad de refugios existente constituye un factor limitante de la capacidad del biótopo (Smith y Tyler, 1973; 1975; Sale, 1975; 1978; Helfman, 1978; Hixon y Reets, 1989). Mochek y Valdés (1984) demostraron que la atracción de los peces al refugio en aguas tropicales es mayor que en latitudes templadas y frías, lo que se relaciona por una parte, con la disminución en el mismo sentido de la presión de los depredadores y por otra, con el desarrollo, en las especies que habitan esos ecosistemas, de otro mecanismo defensivo menos frecuente entre los peces tropicales, el cardumen.

La existencia de refugio es un elemento primordial para el sostenimiento de las poblaciones de peces arrecifales y un limitante de su abundancia. Dale (1978) planteó al respecto, que los largos períodos de reproducción de los peces tropicales constituyen precisamente una adaptación que permite a la especie mantener, durante un largo período del año, un *stock* de nuevos reclutas, que colonizan los espacios vacíos producto de la depredación o muerte.

Se ha demostrado que la ubicación de refugios artificiales incrementa sustancialmente la producción primaria en el área. Mathews (1966) encontró en un arrecife artificial, que en el período de mayo a agosto, se fijó de 13 a 207 mg C/hora-m³, mientras que fuera del arrecife solo fue de 9 a 34. Según Stone (1973), los refugios artificiales incrementan la capacidad de sustentación del área en 300 a 1 800 veces en relación con la existente antes de su construcción.

La producción de organismos alimentarios de los arrecifes coralinos en aguas tropicales no parece ser suficiente para alimentar las densas poblaciones de peces que se concentran en ellos. Varios autores (Randall, 1963; Valdés y Silva, 1977; Sierra *et al.*, en prensa y otros), han demostrado que la mayoría de los peces que habitan estos refugios no se alimentan solo en ellos, sino fundamentalmente, en las praderas de seibadales que los rodean. A pesar de su alta productividad biológica bruta, la mayor parte de la energía en dicho biótopo se emplea en los procesos respiratorios de una gran cantidad de organismos que no intervienen directamente en la trama alimentaria (corales, esponjas, gorgonáceos, etc.), producto de lo cual la producción biológica neta

puede ser cercana a cero en dicho biótomo (Odum, 1971; Huntsman y Manooch, 1978). Por ello, la producción pesquera en los arrecifes es producto, principalmente, de la importación de energía desde los seibadales y otros biótopos que rodean el arrecife. Es de suponer que en los arrecifes artificiales, donde los procesos de respiración de la comunidad son de menor envergadura (por la menor abundancia de invertebrados que no intervienen directamente en la trama alimentaria), la producción neta sea mayor. La ubicación de refugios artificiales en las zonas llanas de la plataforma, permite la utilización de la base alimentaria existente en amplias regiones, no aprovechables sin la existencia de refugios.

El empleo de refugios artificiales puede estar orientado hacia varios objetivos, entre los que cabe destacar los siguientes:

- a) La compensación por degradación del hábitat, como resultado de la contaminación o desastres naturales, o por sobrepesca de determinadas especies.
- b) Incrementar la pesca, mediante el aumento de las áreas potencialmente explotables.
- c) Aumentar la productividad pesquera, lo que permite reducir el esfuerzo y los costos, elementos primordiales para su rentabilidad.
- d) Desarrollo de la maricultura. La ubicación de refugios en áreas adecuadas, acompañadas de la siembra de juveniles de especies seleccionadas, constituye una forma de cultivo extensivo de grandes perspectivas.
- e) Creación de las zonas de cría y ceba. Los juveniles de muchos peces neríticos viven en aguas someras, cerca de la costa, donde el impacto de la contaminación terrestre puede degradar el medio y afectar seriamente el *stock*. La creación de refugios artificiales especiales para juveniles en zonas no afectadas por la contaminación, permite aumentar el reclutamiento en grandes zonas de la plataforma. En este caso dichas estructuras también protegen a los juveniles contra sus depredadores y disminuyen su mortalidad natural.
- f) Manejo de los recursos pesqueros, mediante la vinculación de los pescadores y empresas a determinadas áreas de pesca (regionalización). Esto facilita el control y protección de los recursos, el uso racional de las artes de pesca, y evita la sobreexplotación de especies altamente preciadas o vulnerables.
- g) Control y explotación adecuada de la pesca recreativa.

Hay que distinguir dos formas completamente diferentes de empleo de los refugios artificiales: como atractores o concentradores de organismos marinos, y como vía para aumentar la producción biológica y pesquera. En el primer caso el refugio constituye un subarte de pesca que contribuye a elevar la productividad de la pesca, mientras que en el segundo caso, su objetivo es el de elevar la producción y productividad del ecosistema. Bohnsack (1989) pone en duda este criterio, pero lo admite en relación con regiones apartadas de los arrecifes naturales, que es el caso que se argumenta aquí, de acuerdo con las condiciones de la plataforma cubana, donde los seibadales y arenales sin

refugio se extienden hasta varias decenas de kilómetros desde los arrecifes naturales. El uso indiscriminado de "atractores" de peces puede, en determinadas condiciones, contribuir a la sobreexplotación de los recursos, ya que en tal caso el refugio funge como elemento concentrador, pero aporta relativamente poco al aumento de la producción biológica.

Experiencia internacional

Los refugios artificiales se vienen utilizando en varios países, desde hace muchos años, con diferentes objetivos, aunque se destacan por su experiencia y aprovechamiento Japón, Taiwan y Estados Unidos. En este último se usan desde 1830 (Holbrook, 1860). Hasta hace pocos años estas estructuras se utilizaban fundamentalmente para el desarrollo de la pesca recreativa, actividad que benefició económicamente a muchas comunidades costeras para las cuales el turismo local constituye una importante fuente de trabajo e ingresos.

Hasta la década del 80, la construcción de arrecifes artificiales en los Estados Unidos estuvo fuertemente vinculada a la necesidad de eliminar materiales de desecho que se acumulaban en muchos lugares. Este enfoque limitó notablemente el éxito de los programas de desarrollo de refugios artificiales en ese país (Sheehy, 1983).

A partir de 1935 fueron construidos en casi todas las costas y algunos lagos de ese país, cerca de 150 arrecifes artificiales y, aunque los resultados no siempre fueron los esperados, debido a la carencia de metodologías acordes con los objetivos de cada caso, sí ha quedado bien establecido su utilidad económica (Unger, 1966; Parker *et al.*, 1974; Sheehy, 1983; Stone, 1983). En los últimos años se ha venido aplicando en ese país los conceptos y métodos desarrollados en Japón, los cuales han mostrado una mayor eficiencia y basamento científico.

En Japón y Taiwan, la utilización de refugios artificiales se ha desarrollado con otras perspectivas y principios. El esfuerzo en ambos países se ha orientado al uso de estructuras especialmente diseñadas y construidas de acuerdo a objetivos bien definidos.

Aunque en Japón se han empleado tradicionalmente estructuras artificiales para concentrar peces, la construcción a gran escala comenzó hace unos 35 años. Estas consistían fundamentalmente en cubos prefabricados con concreto reforzado o con metal. Estos módulos de una pieza (Fig. 1), generalmente se colocaban en grupos con una distribución arbitraria. A principios de la década del 70, como consecuencia de la adopción de las 200 millas de zona económica exclusiva por muchos países, y la elevación de los precios del petróleo, la flota pesquera de Japón se vio forzada a reducir su área de acción. Esto coincidió con un período en que la contaminación marina, el desarrollo costero y la sobreexplotación de varios recursos crearon un estado crítico, todo esto promovió la asignación de recursos para el desarrollo de programas de

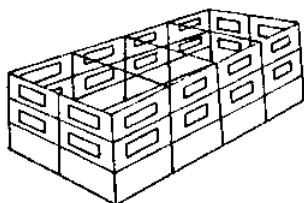
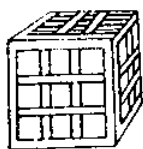
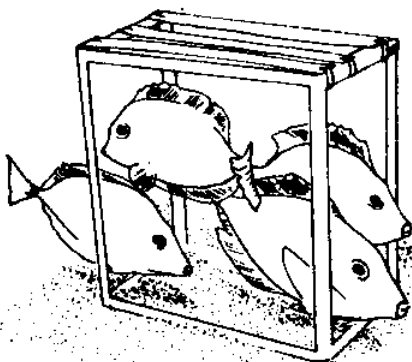
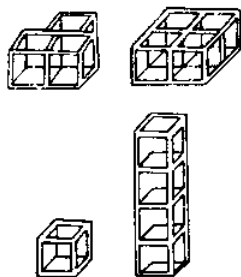
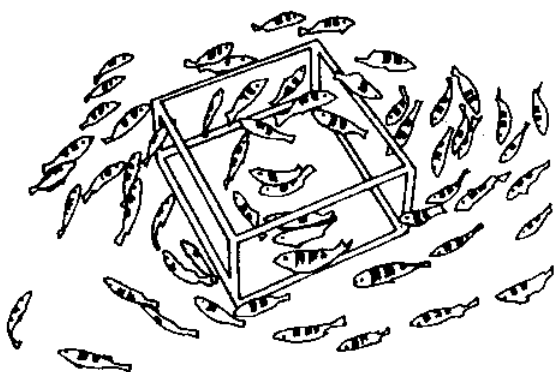
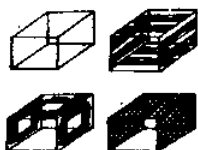


Fig. 1 Estructuras de concreto y metal en forma de cubo empleadas en Japón durante la primera etapa de construcción de arrecifes artificiales.

construcción de arrecifes artificiales, atractores de peces y otros medios para elevar las pesquerías marinas en las costas de Japón (Sheehy, 1983). Entre estos se encuentran estructuras para peces, invertebrados y macroalgas, así como módulos diseñados para condiciones ambientales específicas, especies y hasta para determinados estadios del ciclo de vida de especies importantes.

El principio actual para el diseño de un refugio es la creación de aquellos elementos del arrecife que son importantes para las especies seleccionadas. Este concepto difiere del anterior, que tenía como objetivo reproducir las complejidades y superficie de los arrecifes naturales. Estos últimos son el resultado de la evolución geológica y biológica, y por tanto es lógico que sean capaces de atraer y mantener las poblaciones de peces, pero no necesariamente son concentradores óptimos o brindan la máxima capacidad biológica para las especies que nos interesa obtener (Sheehy, 1983).

Estos principios determinaron el cambio paulatino hacia otro tipo de diseño, más orientado a fines concretos. Si bien las pequeñas unidades de la primera generación de estructuras japonesas se apilaban sin una orientación precisa, las de esta segunda generación consisten en grandes unidades prefabricadas (algunas de hasta 730 m³) ubicadas individualmente, con determinados patrones de distribución, orientación, distancia, etc. (Fig. 2). La mayoría de tales unidades son fabricadas con concreto reforzado, acero, acrílico, u otros variados materiales. Generalmente, cada una está formada por diferentes piezas prefabricadas, que permiten al constructor ajustar el diseño a las condiciones o necesidades locales y montarlas con variada configuración.

Las experiencias de Japón en el uso de refugios artificiales, como vía para desarrollar la pesca comercial es, sin duda alguna, la de mayor adelanto científico-técnico y mejores perspectivas. Otros países como Australia, México, Hawai, Filipinas, Francia, etc.; utilizan los refugios artificiales, aunque en mucho menor medida y siguiendo más o menos los mismos patrones y conceptos descritos con relación a los Estados Unidos, durante su primera etapa.

Experiencia nacional

En Cuba se vienen utilizando, por varias generaciones de pescadores, algunos tipos de refugios artificiales, más conocidos como "pesqueros", principalmente en el Golfo de Batabanó (Silva, 1975; Bustamante *et al.*, 1982; Giménez *et al.*, en prensa). En otras regiones también se han empleado pero no de forma sistemática y organizada.

En todos los casos conocidos, los refugios artificiales en Cuba se han empleado como subartes para atraer y concentrar peces y no constituyen realmente arrecifes artificiales, ya que están formados por estructuras aisladas, relativamente pequeñas, que se ubican casi siempre en praderas de seibadal, alejadas de los arrecifes naturales, y no contribuyen al aumento de la base alimentaria, ni tienen como objetivo aumentar la producción del ecosistema o

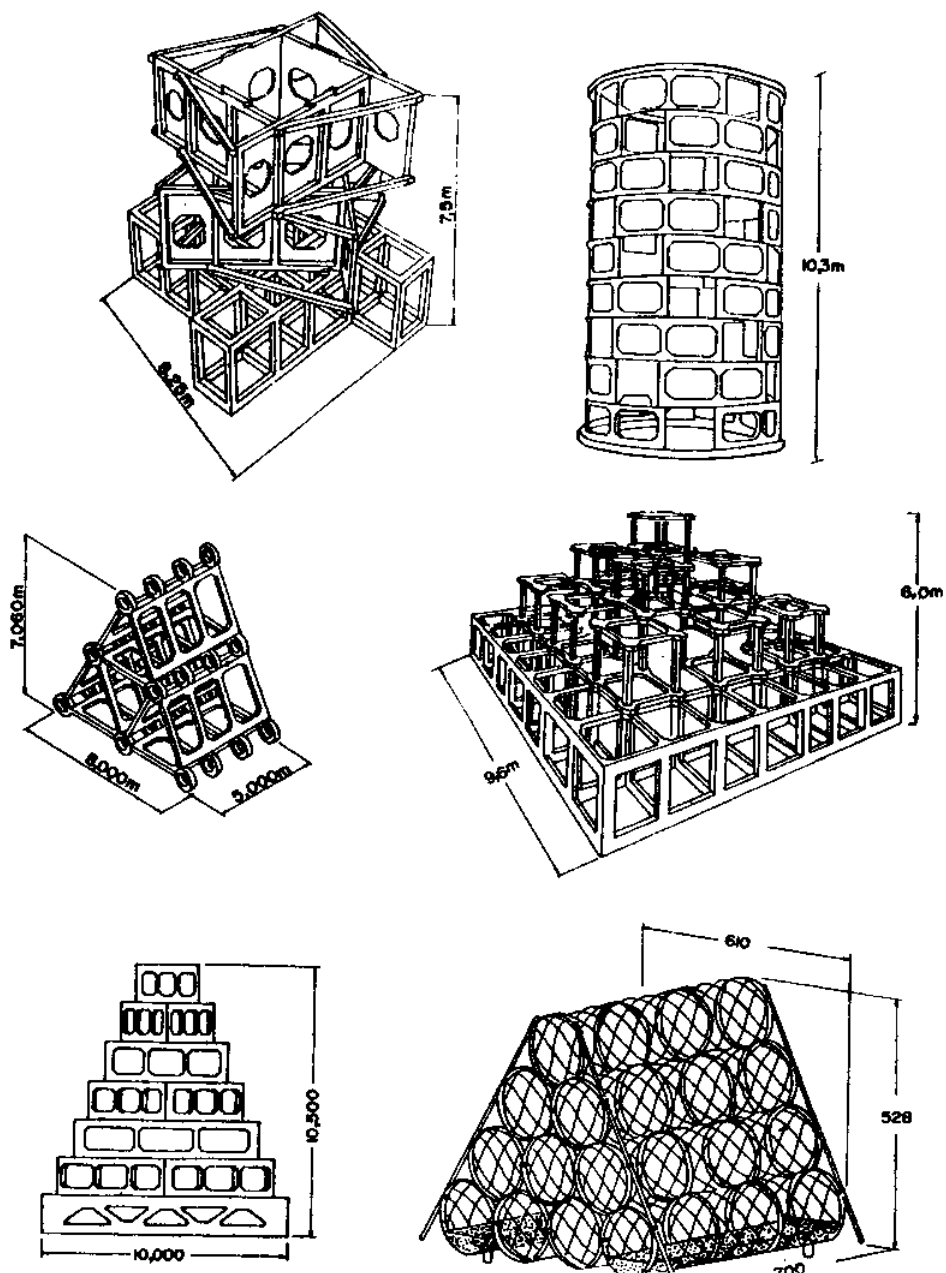


Fig. 2 Estructuras de concreto y plástico empleadas en Japón actualmente para la construcción de arrecifes artificiales.

crear una biocenosis capaz de mantener de por sí una población de organismos.

Los refugios para concentrar peces más conocidos y empleados en Cuba, son los construidos con ramas de mangle, *Rhizophora mangle* (Fig. 3), aunque también se hacen de neumáticos desechados, carrocerías de autos, tuberías y tanques metálicos, chatarra, etc. La experiencia de más de 75 años en aguas del Golfo de Batabanó demuestra que el pesquero de mangle es el que mayor cantidad de peces atrae y en menor lapso de tiempo. Sin embargo, presenta ciertas desventajas, pues se deteriora rápidamente (10-12 meses) y hay que sustituirlo cada año, lo cual choca con las restricciones establecidas para la explotación de los manglares.

Generalmente los pesqueros de mangle se instalan junto con otro de neumáticos y a veces con otros materiales. Los pescadores consideran que el pesquero de mangle constituye el elemento principal de atracción y concentración de los peces, mientras que el otro garantiza la permanencia del pesquero (por su mayor durabilidad) en el período de degradación del primero, además de aumentar la capacidad del refugio.

Los pesqueros de neumáticos usualmente se arman con 18-20 unidades de 1-1,2 m de diámetro (de ómnibus o camión), atados con cadenas galvanizadas, de modo que formen tres filas (Fig. 4). Al caer en el agua, generalmente se deforma esta estructura, pero la mayoría de los neumáticos permanecen en posición vertical. Algunos pescadores los unen simplemente pasando una cadena por su centro, y forman así una especie de roseta.

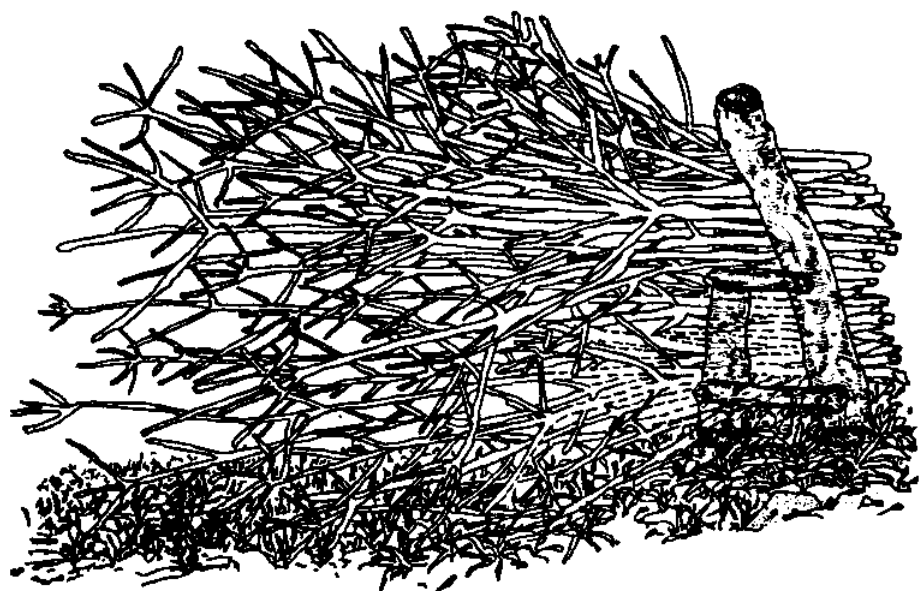


Fig. 3. Pesquero de mangle utilizado por los barcos chichorreros del Golfo de Batabanó para concentrar peces (tomado de Silva, 1975).

Los refugios de mangle ocupan un volumen de unos 15m^3 y los de neumáticos de $4\text{-}5\text{ m}^3$, por lo que la combinación de ambos alcanzan aproximadamente 20 m^3 .

Según una encuesta realizada por Giménez *et al.* (en prensa), la distribución de pesqueros en el Golfo de Batabanó en 1984 abarcó aproximadamente 21% del área total de dicha zona (Fig. 5), y coincidió notablemente con la locación actual del área de operaciones de los barcos chinchorreros del Golfo. La densidad de refugios por área fluctuó entre 0,2 y 1,5 por milla náutica cuadrada (Mn^2), aunque en las regiones de mayor importancia fue de $1/\text{Mn}^2$. Estas cifras son variables en el tiempo, porque no siempre las tripulaciones disponen de iguales condiciones para sustituir los refugios de mangle y/o incrementar el número de pesqueros, aunque en general la cantidad ha ido en aumento. No obstante, la densidad media de pesqueros en cada región debe mantenerse relativamente estable y de acuerdo

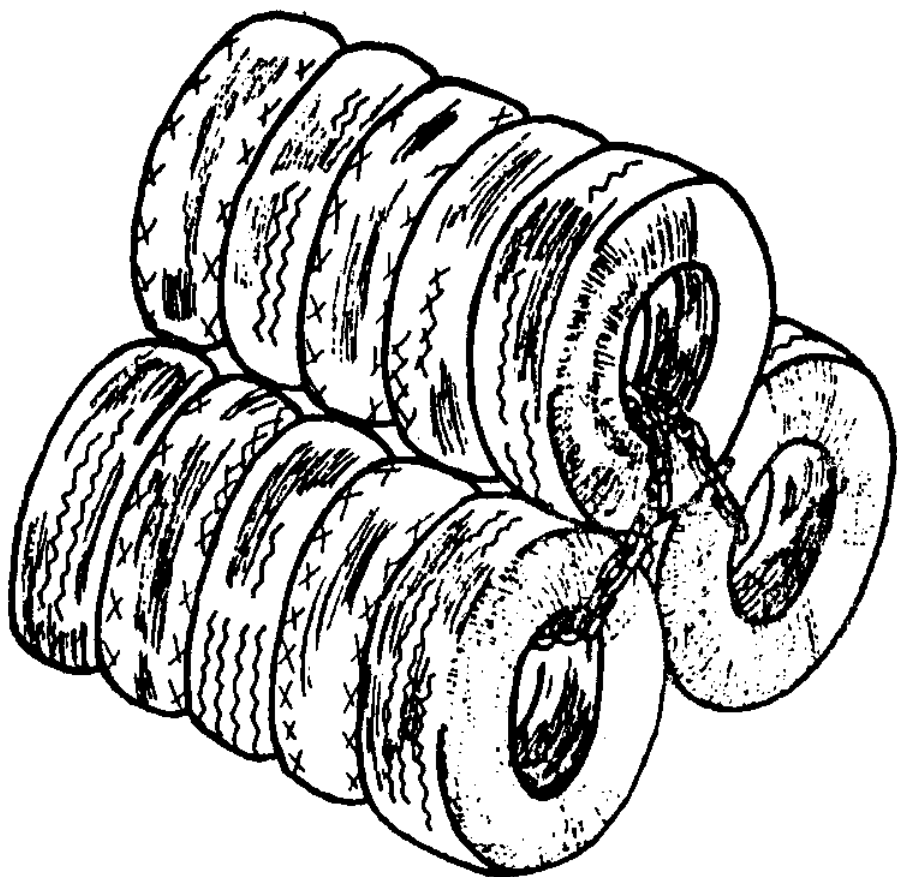
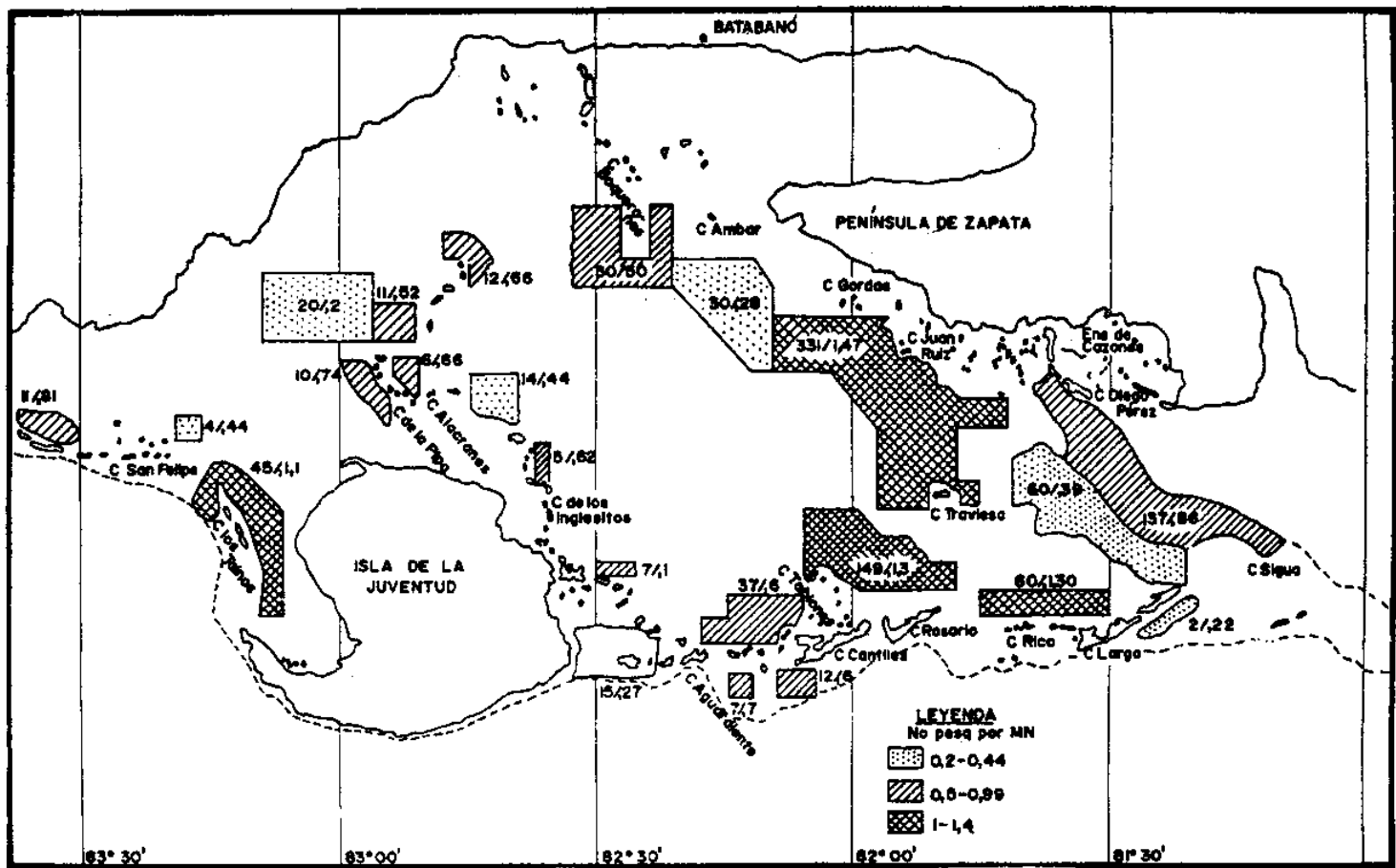


Fig. 4. Refugio construido con 18 neumáticos desechados de 1-1.2 m de diámetro, empleado en el Golfo de Batabanó, sólo o junto con un pesquero de mangle, para atraer y concentrar peces.

Fig. 5. Distribucion y densidad de pesqueros en el Golfo de Batabanó en 1984 (tomado de Giménez et al., en prensa).



con la capacidad de sustentación del ecosistema ya que, según plantean los propios pescadores, una mayor densidad de pesqueros por área no incrementa la captura, sino que la misma biomasa de peces tiende a distribuirse entre los refugios, y disminuye por tanto el rendimiento por pesquero.

Hasta el momento, los refugios artificiales en uso, solo se pescan con chinchorro de boliche, arte evidentemente mucho más productivo y eficaz que la nasa o las redes de enmalle. La operación se realiza de la siguiente forma: se rodea el pesquero (formado por un refugio de mangle y otro de neumáticos) con el chinchorro desde una lancha, posteriormente se ata el refugio de gomas con un cabo y se remolca con una segunda lancha, haciéndolo pasar por debajo de una de las bandas o batideros del chinchorro. Al moverse el refugio, los peces se dirigen hacia el de mangle, este se eleva a mano desde un bote, al mismo tiempo que se arrastra el chinchorro con las primera lancha, se hace pasar por debajo del pesquero, y quedan así todos los peces dentro del arte, el cual se cierra con dos palancas (Claro, 1981; Giménez *et al.*, en prensa).

A juzgar por los datos de la literatura consultada, los pesqueros que se usan en el Golfo de Batabanó, pueden considerarse muy productivos. Los reportes de captura por lance de chinchorro en los mismos, hasta 1980, eran como promedios de 435-450 kg de peces comerciales (aproximadamente 18 kg/m³ de refugio), sin considerar la morralla (Silva, 1975; Bustamante *et al.*, 1982). Con frecuencia en tales capturas se obtenían hasta 2000 kg o más (Silva, 1975). En refugios de concreto en Japón, se reportan capturas que fluctúan entre 0,3 y 112 kg/m³ (Green, 1982). Después de la sobreexplotación de la biajaiba en el Golfo de Batabanó la captura promedio descendió a 150-200 kg por lance de chinchorro (Claro *et al.*, en prensa).

Randall (1963) en un refugio construido con bloques de hormigón en Islas Vírgenes, con un área de 125 m² obtuvo 46,9 kg (0,37 kg/m²) de peces al cabo de dos años y cuatro meses. O sea que, en nuestros pesqueros, a pesar de ser explotados 3-4 veces cada año, acumulan como promedio 90 veces mayor biomasa por unidad de área de refugio que los estudiados por Randall. Esta elevada cifra se debe, probablemente, a que nuestros pesqueros poseen una alta capacidad de atracción para los peces, que además tienen la posibilidad de obtener alimento en grandes extensiones de seibadal, no tan amplias en Islas Vírgenes. Por otra parte, el número de depredadores de tallas relativamente grandes es mayor en los pesqueros del Golfo de Batabanó, mientras que en el arrecife construido por Randall prevalecen las especies de pequeña talla, muchas de ellas no comerciales.

Los resultados obtenidos en el uso de pesqueros de mangle sugieren la conveniencia de elaborar variantes de diseños con materiales duraderos (concreto, plástico, etc.) que por su forma, capacidad y variedad de refugios, puedan simular e igualar el nivel de atracción de los pesqueros de mangle.

Unos pocos pescadores del Golfo de Batabanó emplean un tipo de pesquero construido con palos de jata o patabán, similares a los empleados para concentrar langostas, pero mucho más altos (Fig. 6) Afirman dichos

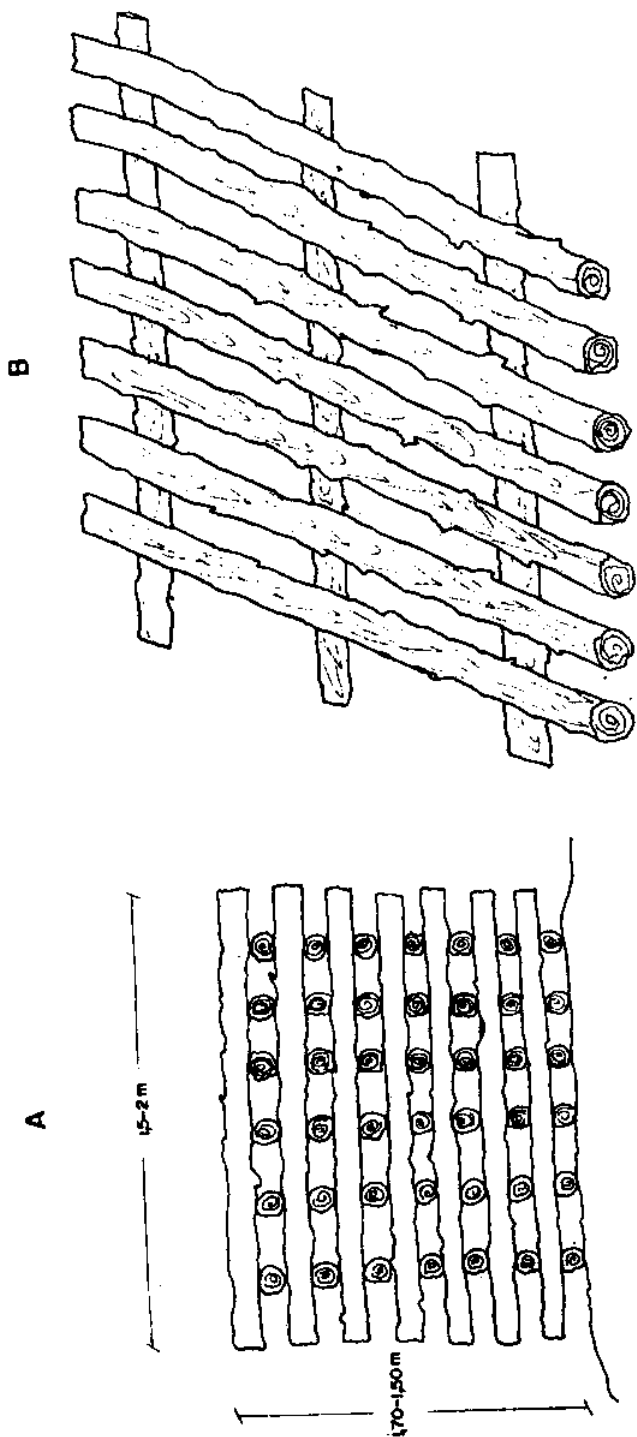


Fig. 6. *Pesquero* construido con troncos de patabán (*Laguncularia racemosa*), utilizado eventualmente para concentrar peces por algunos pescadores en el Golfo de Batabanó. A- vista lateral, B- vista superior.

pescadores que este tipo de estructura reúne igual o más peces que el de mangle y es más duradero. En cierta medida la configuración de esta estructura brinda a los peces similar refugio que el pesquero de mangle. No obstante, resulta muy difícil adquirir los materiales necesarios y su construcción es muy laboriosa, lo cual limita su empleo.

De acuerdo con las encuestas y muestreos realizados, la colonización de los refugios atractores de peces del Golfo de Batabanó, hasta una densidad mínima pescable (unos 100 kg) se produce, en el caso del pesquero de mangle, en unos 30-60 días, y en el caso de otras estructuras, en 2-4 meses, en dependencia del lugar. Una vez establecida la nueva viocenosis, la recolonización, después de cada captura, ocurre en un plazo de 30 a 60 días. Así, algunos refugios pueden ser pescados hasta 4 veces en el año e incluso más.

Bustamante *et al.* (1982), al analizar la pesca de los barcos chinchorreros, demostraron que los lances de chinchorro en pesqueros, producen como promedio 20% más pescado en peso y de mejor calidad, que en los arrastres efectuados sobre los arrecifes de parche en la misma zona, con la diferencia además, de que el lance sobre un pesquero se realiza en pocos minutos, mientras que en el segundo caso, la operación puede durar 1-2 horas, y arrastrar sobre un área muchas veces mayor.

A pesar de las ventajas descritas, el incremento del número de refugios concentradores de peces, podría provocar, por una parte, una dispersión de los peces y la disminución de los rendimientos, y por otra, una situación de sobrepesca, al aumentar la vulnerabilidad de los peces de una población que ocupa determinado territorio, sin un incremento proporcional de su reclutamiento y su base alimentaria. Tales afectaciones se manifiestan ya en el Golfo de Batabanó, donde el constante incremento del esfuerzo pesquero, dado en parte por el aumento del número de refugios, ha provocado la disminución de las capturas y los rendimientos, así como de la calidad y valor de la pesca (Claro *et al.*, en prensa). Tal situación motivó, ya desde 1985, la recomendación de detener el incremento de pesqueros en el Golfo de Batabanó (Claro y Giménez, en prensa).

Con el fin de definir la conveniencia de emplear refugios artificiales para incrementar la supervivencia de las etapas juveniles de los peces demersales neríticos, y definir la preferencia de estos hacia diferentes estructuras, nuestro colectivo (García-Arteaga *et al.*, en prensa) realizó experimentos con cuatro tipos de refugios (Fig. 7), cada uno de los cuales presenta características estructurales acordes con diferentes formas de la conducta de los peces. Se demostró que la densidad promedio de los juveniles en dichos refugios artificiales fue 60 veces mayor que en los seibadales. Al comparar la eficiencia de los cuatro prototipos entre sí, se comprobó que los refugios de mangle concentran de 5 a 13 veces más peces juveniles que las otras estructuras. Las especies predominantes en ellas fueron los roncós (*Haemulidae*) y los pargos (*Lutjanidae*), mientras que la presencia de depredadores en las estructuras o

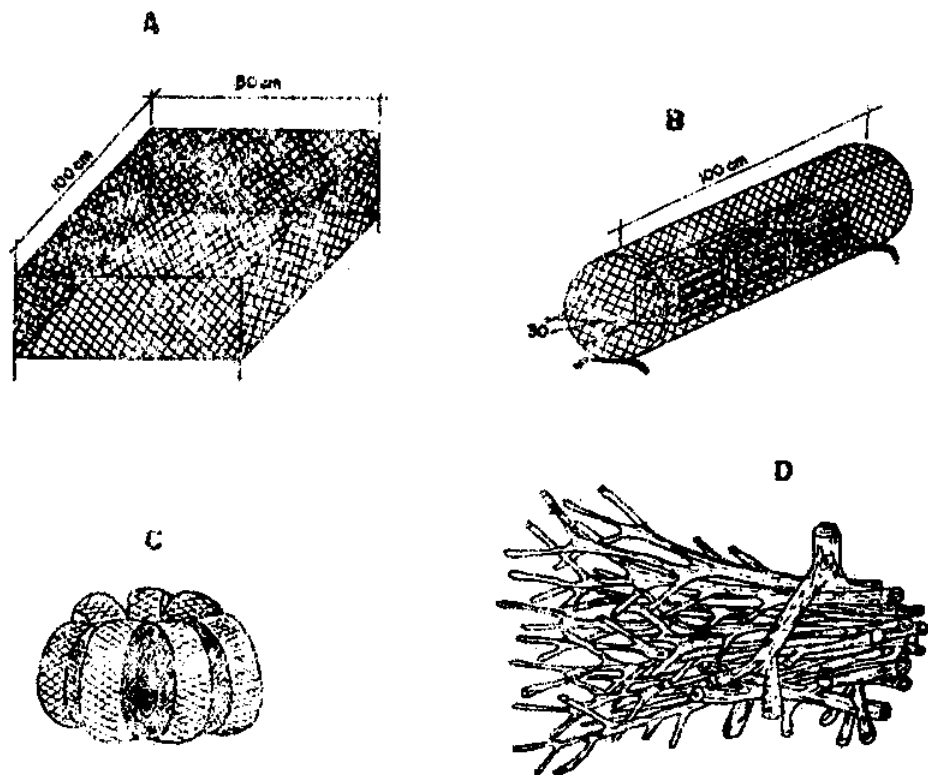


Fig. 7. Refugios diseñados para aumentar la supervivencia de peces comerciales durante su etapa juvenil (tomado de Garcia-Arteaga *et al.*, 1990).

alrededor de estas fue casi nula. Estos resultados demuestran la utilidad de estos refugios para incrementar el reclutamiento de peces comerciales.

Métodos y técnicas para el empleo de arrecifes artificiales

Localización de áreas

La gran mayoría de los casos en que los refugios artificiales no han obtenido buenos resultados se debe a una selección incorrecta del área. Tal decisión debe estar avalada por el estudio de varios factores, entre los que hay que destacar:

- a) *Sustrato*. Debe ser firme, preferentemente rocoso o de arena, para evitar su hundimiento.
- b) *Tasa de sedimentación*. Aún cuando el sustrato sea duro, una tasa de sedimentación alta puede cubrir parcialmente las estructuras, restándole

efectividad, y sobre todo dificulta la fijación y desarrollo de algas e invertebrad.

c) *Corrientes*. Pueden arrastrar grandes volúmenes de arena con igual efecto que el caso anterior. Por otra parte, si su intensidad es grande, provoca un alto gasto de energía en los peces. La mayoría de estos prefieren las aguas tranquilas. Debe considerarse además con qué artes de pesca se pretende explotar los refugios, ya que las corrientes pueden dificultar su uso.

d) *Topografía*. Generalmente se seleccionan zonas de relieve poco accidentado, donde no hay muchos peces, aunque la cercanía relativa de un arrecife puede acelerar el proceso de colonización. No se deben ubicar refugios en zonas de arrastre de chinchorro, aunque también pudieran usarse premeditadamente para proteger de estos determinadas áreas (zonas de cría o ceba, etcétera).

e) *Profundidad*. No hay límites definidos, pero se debe garantizar que la columna de agua entre la parte superior del refugio y la superficie, sea mayor que el calado de la mayor embarcación capaz de navegar en la zona. Las profundidades entre 5 y 50 m, son las más empleadas. La altura del refugio debe estar acorde con la profundidad del lugar: las estructuras más altas brindan mayor volumen de refugio por unidad de área y reúnen más peces.

f) *Turbidez*. La gran mayoría de los organismos que habitan en las zonas arrecifales requieren de agua limpia y transparente. La turbidez dificulta la fotosíntesis y la fijación de invertebrados. En general, debe evitarse las zonas afectadas o amenazadas por la contaminación, el desagüe de los ríos, las corrientes con sedimentos y los fondos fangosos.

Estructuras, formas y tamaños

Los reportes más antiguos sobre el uso de refugios artificiales se refieren al uso de hojas de palmeras (Westernberg, 1953), bambú y ramajes secos (von Brand, 1972), vegetación flotante y ramas (Welcome, 1971) y otras estructuras de origen vegetal, muchas de las cuales se continúan usando en el presente.

Actualmente se emplea una gran variedad de materiales, los cuales pueden ser agrupados en dos categorías principales: materiales de desecho y estructuras especialmente diseñadas para este objetivo.

Algunos países desarrollados han encontrado en los refugios artificiales una vía para deshacerse de materiales que en tierra constituyen fuentes de contaminación, afectan el contorno o cuya acumulación constituye un problema. Así, se han utilizado desde hace más de 30 años, carrocerías desechadas de automóviles, camiones, ómnibus, tranvías, neumáticos, embarcaciones, tuberías dañadas, tanques, calderas y otros recipientes de metal, concreto o plástico. También se emplean rocas y todo tipo de materiales sólidos, no flotantes (Unger, 1966; Stone, 1973; Stone *et al.* 1973; Sheehy, 1983). Más recientemente, se ha experimentado la fabricación de bloques con productos residuales de la combustión del carbón (Woodhead *et al.*, 1982), la electrodeposición de minerales contenidos en el agua (Hilbertz, 1981) y

desechos embalados, algunos de los cuales contienen sustancias orgánicas que aportan nutrientes al medio acuático. Estos últimos pueden aportar hasta 100 g-at. amonio/m²-hora, lo que favorece el crecimiento de las algas (Loder *et al.*, 1974).

Las carrocerías de autos y otras estructuras metálicas desechadas, han demostrado ser buenos atractores de peces, sin embargo, las mismas son poco duraderas: se destruyen casi completamente en 3-5 años (Stone, 1972) y son difíciles de transportar; por otra parte, algunos autores (Fein y Marganstein, 1974) opinan que tales materiales contaminan el medio acuático. Por tales motivos, actualmente se considera poco práctico el uso de estas estructuras. Las embarcaciones hundidas en lugares adecuados, sin embargo, son duraderas y reúnen gran cantidad de organismos marinos, además constituyen centro de atracción para los turistas.

Los neumáticos desechados son una importante fuente de material barato, accesible y duradero, con los cuales se pueden diseñar variados tipos de refugios (Fig. 8). Se estima que un refugio bien armado puede durar más de 30 años, aunque en realidad la vida útil de estos materiales es muy superior. Generalmente la destrucción del refugio ocurre por el deterioro de los

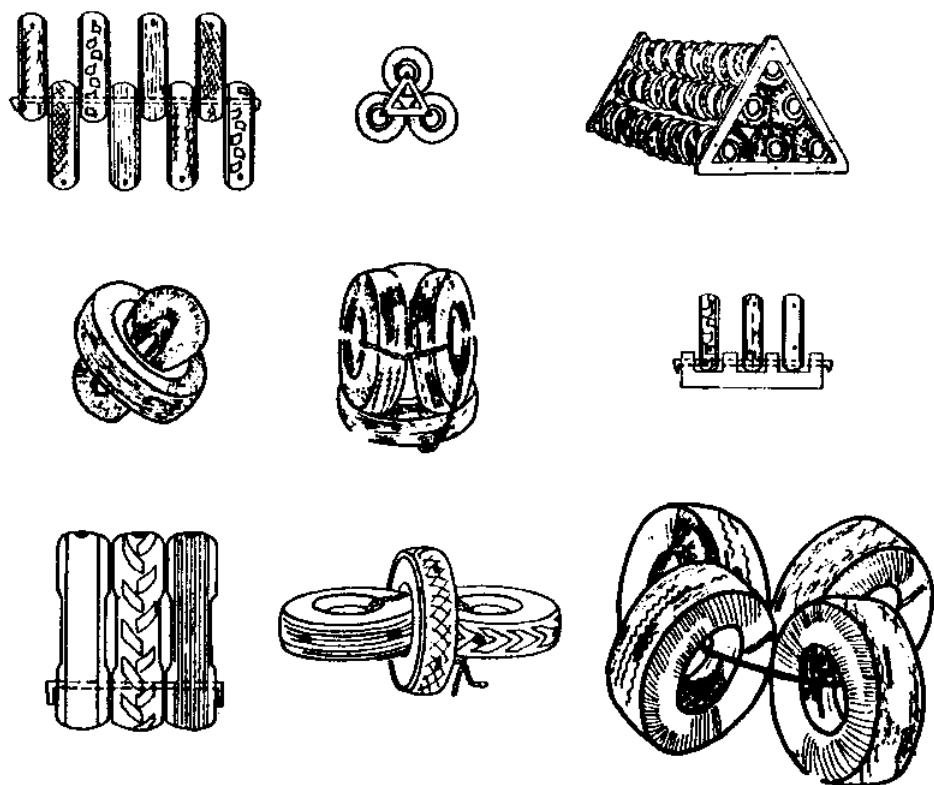


Fig. 8. Algunas formas de empleo de neumáticos como refugios artificiales para peces.

materiales con que se unen los neumáticos (cadenas, cables, cuerdas, etc.) lo cual provoca su dispersión, hundimiento en el sedimento, etc. Por ello, se recomienda para armarlos, el uso de la banda de goma que lo bordea en su interior. Usualmente, estos materiales introducen sustancias tóxicas al medio (grasas, diversas partículas sólidas, etc.) por lo que se deben adoptar medidas para evitar la contaminación del medio.

Los arrecifes artificiales contruidos expresamente con plásticos, concreto y otros materiales duraderos, ofrecen grandes ventajas. En primer lugar son más susceptibles de incorporarse a las biocenosis naturales, ya que en ellos pueden fijarse los corales, esponjas, moluscos, algas y otros organismos que no siempre se incorporan a las estructuras metálicas o de caucho. Por otra parte, no afectan estéticamente el paisaje marino ni introducen contaminantes.

En general los materiales que permiten hacer diseños especiales de los refugios, ofrecen ventajas sobre los materiales de desecho. La flexibilidad inherente de los primeros, permite la fabricación de unidades más estables, relativamente permanentes y más efectivas para especies seleccionadas y para objetivos concretos. El costo inicial puede ser mayor, pero el beneficio también, y su vida útil es mucho más larga, por lo que generalmente resultan más económicas.

Las estructuras flotantes o de media agua son altamente provechosas para concentrar peces pelágicos (Hunter, 1968; Wichham *et al.*, 1973) (Fig. 9). Las mismas presentan grandes ventajas en relación con las de fondo: son más fáciles de transportar, pueden trasladarse de un lugar a otro, el proceso de colonización es más rápido y muchas de las especies que se concentran en ellas, son generalmente migratorias, menos vulnerables al efecto de una intensa pesquería. En su construcción pueden emplearse disímiles objetos

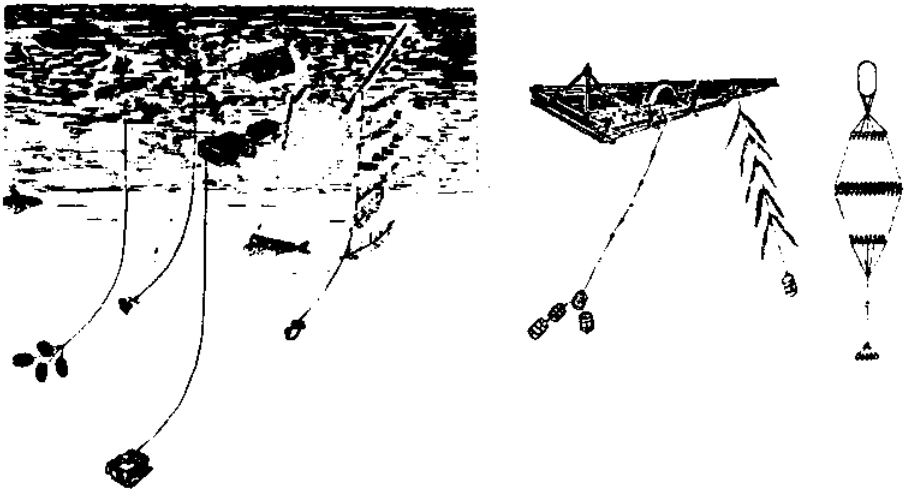


Fig. 9. (continúa)

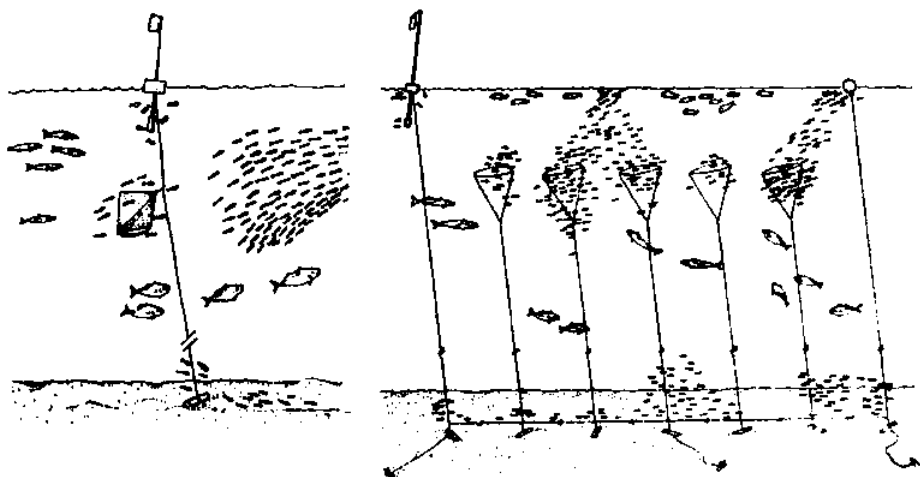


Fig. 9. Algunos tipos de estructuras flotantes o de media agua empleados para concentrar peces pelágicos.

flotantes, desde ramas y troncos de árboles, hasta sofisticados materiales, como láminas de polietileno, telas de fibra sintética, neumáticos desechados, etc. Alrededor de estas estructuras se reúnen principalmente atunes (*Scombridae*), dorados (*Coryphaena hippurus*), sardinas (*Clupeidae*), jureles (*Carangidae*), etc. En aguas de la plataforma es conveniente combinar su uso con refugios de fondo, para obtener una captura mayor.

Los arbustos plásticos flotantes o sobre el fondo, proveen un hábitat adicional para los peces, especialmente durante su etapa juvenil, así como para una gran cantidad y variedad de organismos que sirven de alimento a los primeros. No obstante, la acumulación en ellos de organismos incrustantes provoca el hundimiento de este sustrato (Parker *et al.*, 1974), por lo que, aunque pueden ser muy útiles, aún es necesario continuar mejorando las técnicas para su empleo.

El diseño del refugio debe considerar, en primer término, la composición de la ictiofauna local, y las peculiaridades de la conducta de las especies que se desean explotar. No siempre resulta provechosa la introducción de estructuras descritas en la literatura. Los peces pelágicos y gregarios, por ejemplo prefieren estructuras altas, con grandes espacios, por entre las cuales pueden moverse en cardumen. Algunas especies demersales y las crípticas, sin embargo, prefieren las oquedades pequeñas, refugios individuales, oscuros. Entre ambos grupos, hay un gradiente de especificidades que deben ser analizados antes de diseñar los refugios. Los pelágico-gregarios son predominantes en aguas templadas y frías, mientras que en aguas tropicales, donde abundan los arrecifes, los peces demersales son más numerosos.

Al seleccionar los materiales y estructuras es necesario evaluar la densidad y peso del material; este debe estar acorde con la magnitud del oleaje y las

corrientes en la zona, a fin de garantizar que los refugios no sean movidos. La Forma del refugio, debe guardar correspondencia con las peculiaridades hidrológicas del lugar. Las estructuras con paredes, láminas, etc.; ofrecen mayor resistencia al movimiento del agua, mientras que las abiertas, o formadas solo por barras o columnas no son tan afectadas (Mathews, 1966).

Configuración y densidad

El diseño de un arrecife artificial debe incluir varios factores, principalmente la forma y tamaño del arrecife (Fig. 10), la orientación y espaciamiento de las unidades en este (Sheehy, 1983). La definición de cada uno de estos elementos depende de los objetivos para los cuales se construye el arrecife, las peculiaridades hidrológicas locales, las artes de pesca que se pretendan emplear, etcétera.

Teóricamente, los arrecifes grandes son más productivos que los pequeños. Sin embargo, la distribución y forma de las estructuras juegan un papel

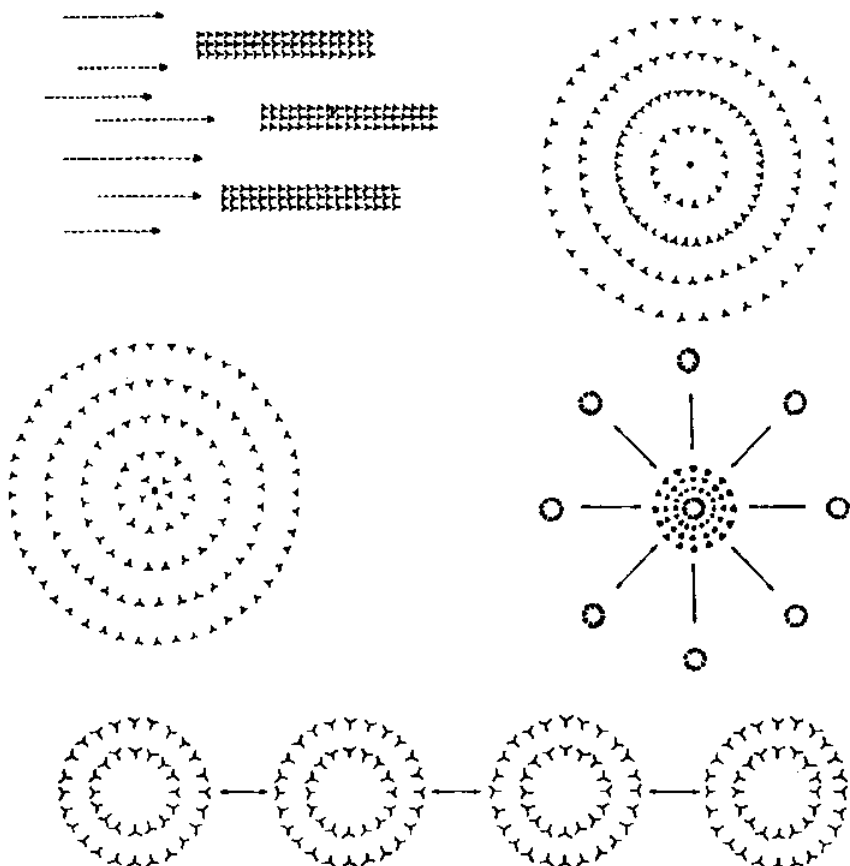


Fig. 10. Algunos tipos de configuración de arrecifes y la distribución de sus refugios, empleados en Japón.

determinante. Generalmente la dispersión de estructuras no muy pequeñas, separadas entre sí 10-50 m, de modo que el conjunto forme un círculo o un cuadrado, brinda mejores resultados por unidad de volumen de refugios, que el amontonamiento de igual cantidad de materiales que forman un arrecife compacto. El tamaño mínimo de un arrecife artificial, debe variar entre 400-2000 m³ (Sheehy, 1983).

La distancia o área de influencia depende de los hábitos de cada especie. No obstante, se considera, de forma general, que para peces demersales es de unos 100 m, para los pelágicos de aproximadamente 200 m y para muchos peces coralinos unos 30 m (FAO, 1983).

Costos y eficiencia económica

Los costos de construcción de los arrecifes artificiales pueden ser relativamente altos, aun cuando se empleen materiales de desecho. Uno de los factores determinantes es el acopio y transportación de los mismos. Una variante empleada con frecuencia en Estados Unidos y Japón es aprovechar el trabajo social que brindan algunas asociaciones u organismos interesados en contribuir al desarrollo económico de determinadas regiones. La valoración de la eficiencia económica se realiza tomando en consideración múltiples elementos, de acuerdo con las condiciones socio-económicas del país. En Cuba, gracias a la existencia de un sistema centralizado de la economía, es posible estimar su valor de forma sencilla: la eficiencia económica es igual al valor de la captura anual entre el costo de construcción del arrecife, dividido por el número de años de vida útil.

Premisas del uso de refugios artificiales para peces en Cuba

Fundamentación

En algunas regiones de la plataforma cubana existen grandes extensiones en las cuales actualmente no se pesca o se realiza muy poco esta actividad, debido a la ausencia en las mismas de condiciones adecuadas para el mantenimiento de poblaciones de peces comerciales. Se ha demostrado que en la mayoría de tales áreas, el factor limitante es la ausencia de refugios, ya que existen condiciones hidrobiológicas adecuadas y en algunos casos una base alimentaria similar o incluso superior a la de las zonas tradicionales de pesca. La implementación de un programa de arrecifes artificiales en estas regiones, constituye una vía, no solo para incorporar áreas actualmente improductivas para la pesca, sino el desarrollo de metodologías para mejorar las condiciones pesqueras de las zonas actualmente en explotación.

Varios autores (Stevenson y Marshall, 1974; Wijkstrom, 1974; Carpenter, 1977; Munro, 1977; 1983; Marshall, 1980; Russ, 1984) han calculado que las zonas con arrecifes coralinos pueden producir una captura potencial de 4-6 ton/km²-año, considerando en el área tanto los propios arrecifes como los seibadales, arenas y todos los hábitats adyacentes desde la costa hasta el veril. En zonas de crecimiento activo de corales de Samoa Americana se han estimado capturas potenciales de 8 y 18 ton/km² (Hill, 1978; Wass, 1982). En la plataforma la proporción de áreas cubiertas por arrecifes es mucho menor que en los ecosistemas del Pacífico, por lo que no es de esperar semejante potencial. La productividad máxima obtenida en ella fue de aproximadamente 1,3 ton/km² (1,45 al considerar las pesquerías oceánicas). En estas cifras se incluyen pesquerías en zonas estuarinas, altamente productivas (Claro *et al.*, en prensa). No obstante, la ubicación de arrecifes artificiales en zonas adecuadas debe incrementar la captura potencial a un nivel comparable con el de regiones más pobladas por arrecifes naturales.

En el Golfo de Batabanó, se explotan los peces en menos de 40% de su área. Los muestreos exploratorios realizados hasta el momento, demuestran que el área pescable pudiera incrementarse al menos en unos 4000-5000 km². Si se asume conservadoramente una productividad pesquera de 1 ton/km², la producción en el Golfo pudiera incrementarse en 4000-5000 ton.anuales. En otras zonas de la plataforma existen también extensas áreas que, aunque se explotan actualmente, tienen una productividad muy baja, la cual podría elevarse sustancialmente mediante el uso planificado de refugios artificiales.

Independientemente de lo anterior, algunos elementos indican que la base alimentaria de los peces en nuestra plataforma es un factor limitante para el crecimiento de la biomasa íctica. Por ejemplo, se sabe que varias especies de peces poseen una tasa de crecimiento mucho mayor en aguas del Banco de Campeche, Brazil o Venezuela, que en Cuba (Claro y García-Arteaga, en prensa). La carencia de sustrato duro para la fijación y crecimiento de algas y regugios para los invertebrados en grandes extensiones de la plataforma, sin duda afecta la disponibilidad de alimentos, más se consideramos que la mayoría de los peces costeros de Cuba son carnívoros. Por tanto, la instalación de hábitats artificiales en forma masiva, debe ir acompañada de medidas para establecer un equilibrio entre la base alimentaria y los peces que podrían albergar los refugios.

Otro elemento importante para la creación de un sistema de arrecifes artificiales a gran escala es el reclutamiento, el cual debe crecer proporcionalmente a la creación de los nuevos biótopos artificiales y en concordancia con la extracción pesqueros. Sin embargo, como hemos visto anteriormente, las pesquerías actuales de las especies más importantes (pargos) recaen fundamentalmente sobre tallas menores que la media de madurez sexual, y las artes masivas empleadas (redes de sitio) durante las corridas impiden el paso de los reproductores hacia las áreas de desove. Por el

contrario, algunas especies de inferior calidad, que compiten con las anteriores por el espacio y el alimento (roncos) no son pescadas con igual intensidad, y tienen un poder reproductivo muy alto, todo lo cual facilita que sean estos y no las especies de interés las que colonicen los refugios naturales y artificiales. Por otra parte, las etapas juveniles de muchas especies son objeto alimentario importante de los depredadores, en las zonas poco profundas de la plataforma, por lo que es conveniente tomar medidas para aumentar su supervivencia, para lo cual también podrían ser útiles los refugios artificiales especialmente diseñados para ese fin.

Los arrecifes coralinos se consideran entre los ecosistemas más productivos del planeta (Odum, 1971). Si bien una gran parte de la biomasa acumulada en ellos no es utilizada directamente por el hombre para su consumo, muchos de esos organismos intervienen directamente en la alimentación de los consumidores de importancia comercial. Esa alta producción de biomasa está dada, en gran medida, por la compleja configuración estructural del arrecife, que brinda la posibilidad de refugio a miles de organismos, facilita el entrapamiento de la materia orgánica y aumenta extraordinariamente la productividad primaria y secundaria. Por ello consideramos que en las zonas llanas de la plataforma, el uso de refugios artificiales necesariamente provocará un aumento de la productividad biológica. No obstante, es muy probable que la cantidad de peces que puedan albergar los refugios, sea muy superior a la producción de alimento del biótomo, en cuyo caso este se convertiría en un factor limitante de la abundancia. Algunos autores (Coustalin, 1971; Duval *et al.*, 1982) iniciaron experiencias para la creación de sustratos artificiales que brinden la posibilidad de incrementar la base alimentaria de los peces, al nivel máximo potencial de la capacidad de sustentación del ecosistema. Estos sustratos (Fig. 11) deben ser capaces de formar un nuevo biótomo, que al relacionarse con las poblaciones circundantes, constituyan un conjunto biocenótico particular por adición de una red cavitaria que debe jugar el papel de suministrador de alimento (*dispenser feeder*). Tal estructura debe estar diseñada de forma que los depredadores no puedan consumir los organismos que habitan el interior de dicha red de cavidades, sino solo aquellos que migran a la periferia por exceso de población (Coustalin, 1971). De esa forma la estructura puede convertirse en un constante productor de alimento para peces.

En un experimento realizado por nuestro colectivo en el Golfo de Batabanó se ubicaron 40 sacos de malla de caprón llenos de piedras y algunos pedazos de cerámica, sobre fondos de seibadal. Al cabo de tres meses la biomasa contenida entre las rocas de estos sacos era 40 veces superior a la reportada (Gómez *et al.*, 1980) en igual área del fondo de dicha región, y 580 veces mayor al cabo de 21 meses. Muchos peces pequeños se acercaban a dichas estructuras para alimentarse o protegerse e incluso los empleaban como refugio.

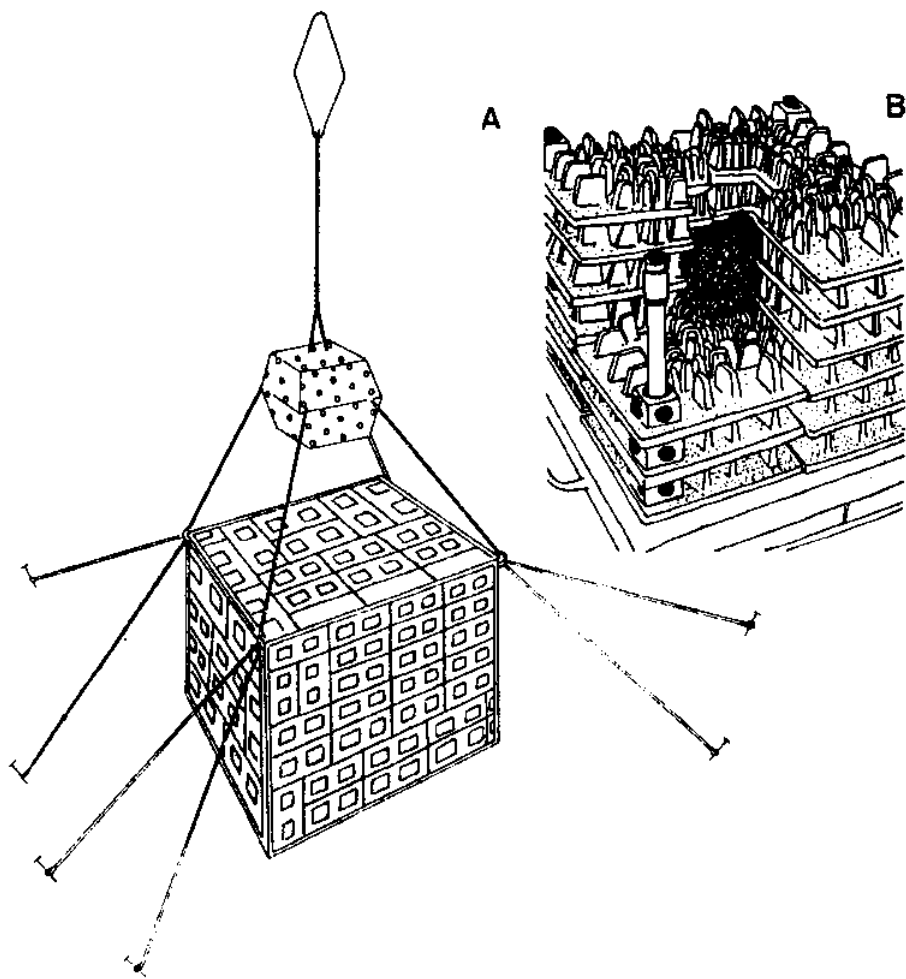


Fig. 11. *Sustratos artificiales diseñados para el establecimiento de biocenosis capaces de incrementar la biomasa y productividad del ecosistema. A- tomado de Coustalin (1971); B- tomado de Duval et al. (1982).*

Los sustratos artificiales para algas e invertebrados, pueden también servir como refugio a las etapas juveniles de algunos peces, contribuyen también a incrementar el reclutamiento. El uso combinado de estas estructuras con los refugios para peces comerciales debe incrementar sustancialmente la productividad biológica y pesquera de la plataforma.

En resumen, en nuestro criterio el empleo masivo de refugios artificiales en la plataforma de Cuba debe desarrollarse sobre tres principios básicos no considerados hasta ahora:

a) Los arrecifes artificiales deben orientarse a crear una verdadera biocenosis, capaz de garantizar un incremento de la producción biológica, que disminuya su dependencia del transporte de energía desde regiones alejadas, con lo cual

el refugio no solo sería un elemento concentrador, sino que se convertiría en un gran productor de biomasa. Ello solo es posible mediante la instalación masiva de estructuras con gran densidad y capacidad de refugio. Este sistema debe conformar un verdadero arrecife y se diferencia sustancialmente, por sus dimensiones y objetivos, de los actuales “pesqueros” o estructuras para atraer y concentrar peces.

b) Debe incrementarse además la base alimentaria mediante la creación de sustratos artificiales que brinden a los organismos alimentarios del bentos, condiciones similares a las de los arrecifes coralinos. Para ello, es necesario crear un nuevo biótomo que sería el elemento de producción de ese sustrato artificial.

c) Es necesario establecer un equilibrio adecuado entre el incremento en la capacidad de refugio, la extracción pesquera y el reclutamiento. Para ello, es preciso, en primer lugar, controlar la proporción entre las poblaciones de peces de mayor interés (pargos) y sus competidores (roncos y otros), garantizar el proceso de reproducción de las especies seleccionadas, proteger las zonas de cría e incluso aumentar la capacidad de refugio de estas mediante hábitats artificiales diseñados para peces juveniles y prever la posibilidad de siembra de alevines en ellos.

Definición de objetivos

Sobre la base de las cuestiones planteadas en las páginas anteriores en relación con el estado actual de explotación y las perspectivas de utilización de los recursos marinos de la plataforma cubana, se han identificado algunos objetivos concretos hacia los cuales se debe orientar el desarrollo de un programa nacional de refugios artificiales, que de forma breve se enuncian a continuación:

- Incrementar la producción biológica y pesquera de la plataforma.
- Rehabilitar las poblaciones sobreexplotadas de bíaiba en el Golfo de Batabanó y evitar la sobrepesca general del ecosistema de la plataforma.
- Proteger e incrementar los stocks de caballerote, cubera, pargo criollo, rabirrubia y otras especies neríticas.
- Incrementar el aprovechamiento de los peces pelágicos neríticos, principalmente jureles y escombridos.
- Incorporar a la producción pesquera áreas poco explotadas de las cuatro zonas de la plataforma.
- Facilitar el manejo y protección de los recursos pesqueros.
- Contribuir a elevar la rentabilidad de las empresas de pesca.
- Promover el desarrollo de la maricultura extensiva.
- Contribuir a organizar y controlar la pesca recreativa, y convertirla en una actividad que brinde beneficio social al país.

Actividades para el alcance de los objetivos planteados

La consecución de estos objetivos, que no serían los únicos, requiere de la ejecución de tareas específicas a cada uno, aunque muchas de ellas son comunes a varios objetivos:

- Sustitución paulatina del uso actual de estructuras concentradoras de peces (pesqueros), por sistemas multirrefugio, y mantener así las primeras sólo en lugares donde no sea posible utilizar las artes de pesca para capturar poblaciones aisladas en buen estado de conservación, o donde no sea aconsejable el uso de arrecifes artificiales.
- Establecimiento de arrecifes artificiales en todas las zonas donde existan condiciones adecuadas, emplear en cada caso los tipos de estructuras acorde con las condiciones locales y las especies predominantes o de mayor interés. Inicialmente se podrán utilizar las estructuras que se recomienda más adelante, al tiempo que se deberá trabajar en formas más efectivas.
- Regionalizar el establecimiento de hábitats artificiales, vincular así las embarcaciones y establecimientos pesqueros a su construcción, emplazamiento, explotación y conservación.
- Diseñar, desarrollar, construir y ubicar estructuras adecuadas para la protección de las etapas juveniles de especies más preciadas (especialmente pargos).
- Diseñar, desarrollar, construir y ubicar estructuras capaces de incrementar la producción de alimento vivo para los peces que habitan los refugios artificiales e incrementar la producción de alimento vivo para los peces que habitan los refugios artificiales e incrementar la producción biológica del ecosistema.
- Construir arrecifes artificiales en zonas seleccionadas para promover la pesca recreativa nacional e internacional, mediante el turismo.
- Desarrollar un programa de monitoreo e investigaciones para el perfeccionamiento continuo de los métodos y técnicas de explotación del sistema.

El esfuerzo principal debe concentrarse en la construcción de arrecifes artificiales, inicialmente en el Golfo de Batabanó, donde ya hay experiencia en el uso de pesqueros y resulta más fácil evaluar los resultados y desarrollar nuevos métodos, aunque al mismo tiempo se inicien experimentos en otras zonas.

Se debe empezar la instalación y explotación de arrecifes artificiales con neumáticos desechados, los cuales son más accesibles en esta etapa. Mientras, se debe trabajar en el diseño y experimentación de diferentes prototipos y estructuras de hormigón, en diferentes condiciones ambientales, y de acuerdo con objetivos concretos.

El uso de refugios atractores o concentradores de peces, en las zonas adecuadas para ello, puede realizarse siguiendo la experiencia del Golfo de Batabanó.

Metodología para la implementación de un programa nacional

Considerando los elementos planteados en el epígrafe “Estructuras, formas y tamaños”, la disponibilidad de recursos existentes en el país y las peculiaridades de la conducta de las principales especies, así como de las condiciones ambientales de nuestra plataforma insular, se propone iniciar el desarrollo de arrecifes artificiales para peces demersales neríticos, con la utilización de tres tipos de materiales fundamentales: ramas de mangle (de forma limitada), neumáticos y estructuras de concreto especialmente diseñadas. Cada uno de estos elementos se utilizará para objetivos definidos de acuerdo con los siguientes principios:

Pesqueros de mangle. Se emplearán como atractores de peces, de forma combinada con neumáticos u otras estructuras, solo en áreas donde no existan condiciones adecuadas para el establecimiento de arrecifes artificiales y en lugares o biótotos donde habitan poblaciones de peces comerciales y las artes de pesca no tienen acceso a ellos. En estos casos, la densidad de refugios no debe ser mayor de 0,3 km².

En cada arrecife artificial se ubicará un número limitado de atractores que facilitarán la captura de los peces. Estos atractores o concentradores de peces consistirán en un pesquero de mangle junto a otro de neumáticos o concreto de gran tamaño, por cada bloque.

El uso de pesqueros de mangle debe ser coordinado en el Departamento de Protección de la Flora y Fauna del Ministerio de la Agricultura, Con el fin de establecer métodos y normas para su explotación, así como para la conservación de este valioso recurso. El modelo de pesquero que se usa en el Golfo de Batabanó, ha demostrado su alta eficiencia y fácil construcción, por lo que se sugiere mantenerlo como prototipo. Una tripulación de ocho hombres puede construir como promedio ocho unidades en un día.

Refugios de neumáticos. De acuerdo con la experiencia de los pescadores del Golfo de Batabanó, los refugios de neumáticos son buenos atractores de peces siempre que se ubiquen sobre fondos de seibadal, pero no tanto en los arenales. Este criterio debe ser confirmado, aunque al usarse como arrecife artificial en vez de como simple atractor, es probable que esto no sea determinante.

Debido a su forma y al bajo peso específico de los neumáticos en el agua, es necesario, en primer lugar eliminar el aire atrapado en ellos, para lo que se requiere de equipos capaces de hacer perforaciones en su dura estructura. Un método más práctico, consiste en extraer el aire con un pedazo de manguera plástica a cada unidad una vez lanzado al agua el refugio, mientras permanece flotando. Además de esto, en algunos casos es necesario lastrar el refugio, para lo cual son útiles las probetas de prueba de hormigon: rellenar la parte inferior

de cada neumático con concreto o su inclusión en un molde de dicho material (Fig. 4). En algunas regiones donde el oleaje y las corrientes son muy fuertes, no es recomendable el uso de neumáticos, sino de estructuras de hormigón armado.

Las experiencias en el Golfo de Batabanó muestran que los refugios más efectivos para peces suelen estar formados por 18 neumáticos grandes (de más de 1 m de diámetro) y dispuestos de forma que la mayoría permanezcan en posición vertical. Los neumáticos en posición horizontal sobre el fondo suelen ser más útiles para concentrar langostas.

Un tipo de refugio más estable en cuanto a su configuración fue diseñado por nuestro colectivo (Fig. 12). El mismo, aunque construido con solo 11 neumáticos, ocupa un volumen igual o mayor que los descritos anteriormente y ofrecen mayor número de refugios. Las experiencias obtenidas mediante la explotación comercial de 8 módulos de este tipo durante 5 años, mostraron que concentran igual o mayor cantidad de peces que los construidos con 18 unidades. No obstante, su construcción es más compleja y requiere de equipos adecuados para la perforación y montaje de las gomas.

La Fig. 13 muestra una forma más simple de armar un módulo, con cables o cadena galvanizada, basado en similar forma de distribución de las unidades que el anterior, aunque más bajo. Esta disposición permite determinar el tamaño del refugio, variando el número de neumáticos. Este sistema, ideado originalmente para hacer refugios flotantes (Fig. 14) con neumáticos pequeños (Candle, 1983), resulta también muy práctico para refugios de fondo con unidades más grandes. Este diseño, por su simple y económico montaje se recomienda para construir módulos de 13 y 25 unidades, que formarían parte de los arrecifes artificiales, y para refugios flotantes de 18 unidades.

Estructuras de concreto. En varias regiones de la plataforma donde son fuertes las corrientes o el oleaje, el fondo es rocoso o de arena y el agua muy

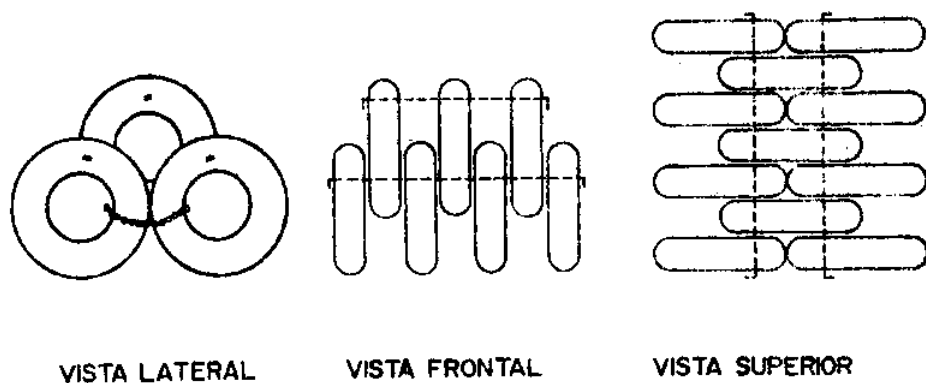


Fig. 12. Refugio construido con 11 neumáticos de 1-1.2 m de diámetro, montado con barras corrugadas de acero.

transparente, es conveniente la implantación de estructuras de hormigón. Con ese fin se diseñó un módulo que se arma con postes de concreto (Fig. 15), que semeja uno de los tipos de pesqueros usados en el Golfo de Batabanó con mayor productividad (Fig. 6). Esta estructura deberá someterse a experimentación próximamente, aunque otros prototipos deben ser diseñados a fin de seleccionar los más adecuados.

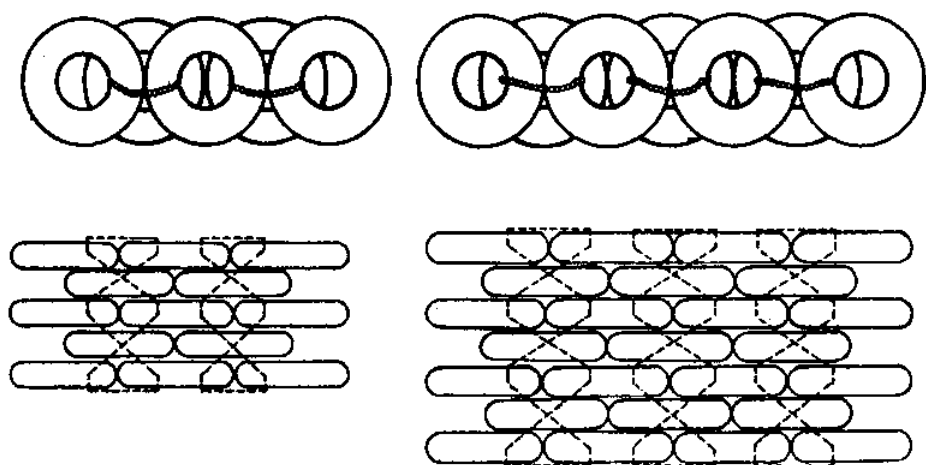


Fig. 13. Refugios construidos con 13 y 25 neumáticos, recomendados para el establecimiento de arrecifes artificiales en algunas zonas de la plataforma cubana.

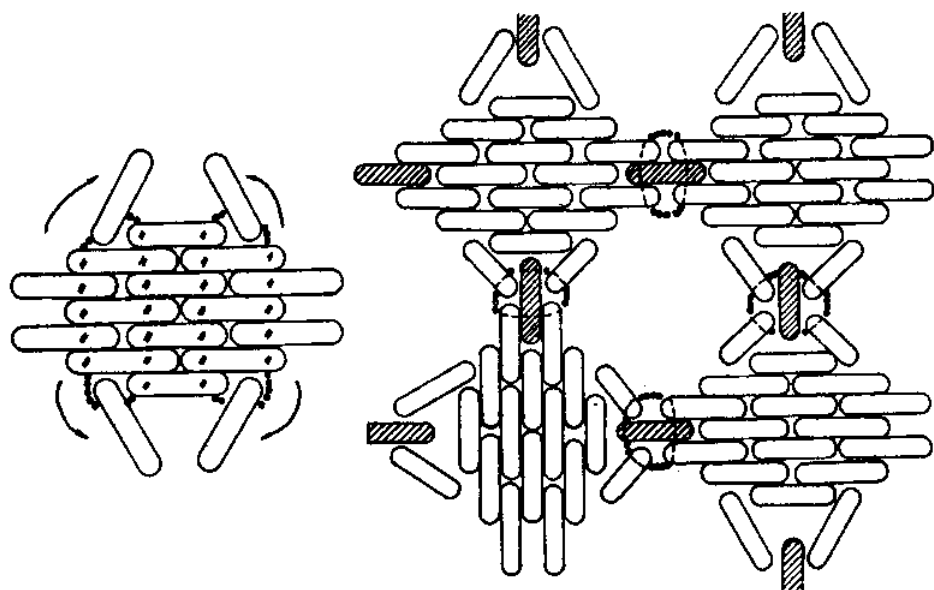


Fig. 14. Refugios flotantes construidos con neumáticos pequeños, para concentrar peces pelágicos (tomados de Candle, 1983).

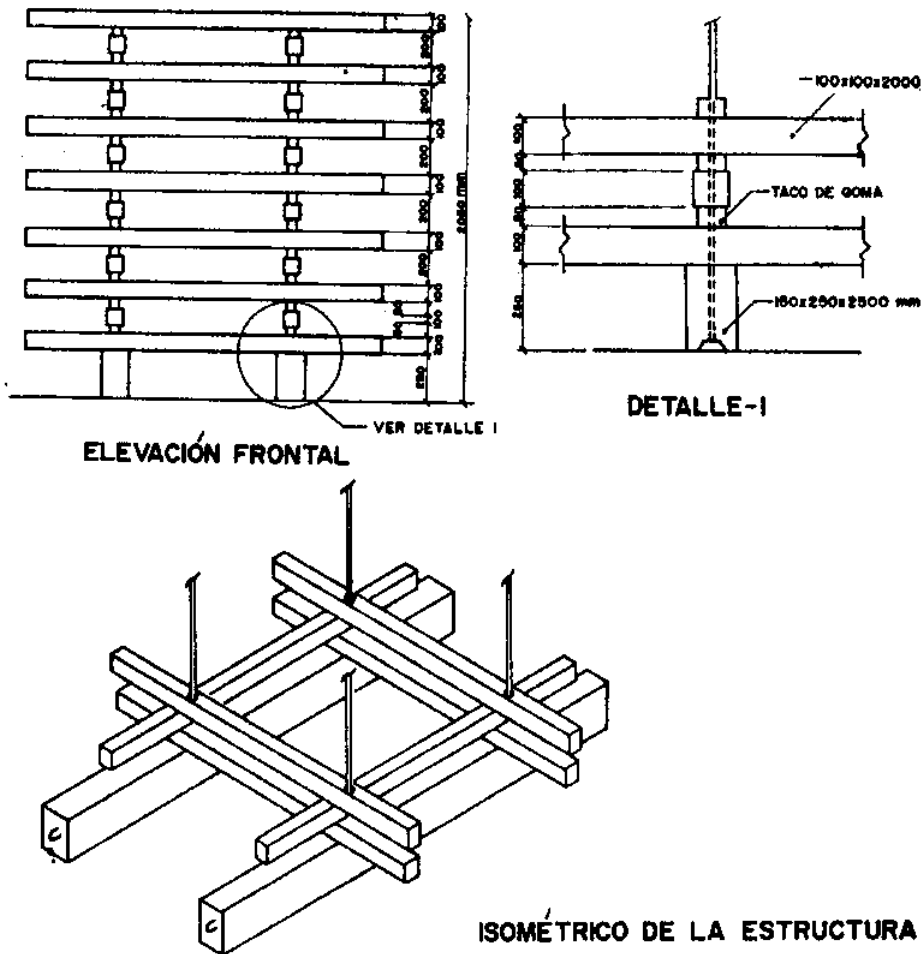


Fig. 15. *Diseño de pesquero construido con postes de concreto, propuesto para experimentación en zonas de oleajes o corrientes fuertes.*

Configuración de un arrecife artificial

En la mayoría de las zonas de la plataforma, los refugios artificiales deben orientarse a la captura de especies arrecifales (principalmente biajaiba, caballero, cubera, pargo criollo, meros y rabirrubia) y algunos peces pelágico-neríticos (cibíes, cojinúa, chicharro, gallego, palometas, sierra, serrucho y pintada) por lo que se ha previsto la combinación de estructuras de fondo y flotantes o de media agua, con una distribución y densidad acordes con las peculiaridades de nuestro ecosistema marino. Para definir la configuración de los arrecifes artificiales se consideró: a) la mayoría de las especies arrecifales (principalmente los pargos) viven asociados a las estructuras, cerca del fondo, y realizan migraciones de alimentación a los sibadales aledaños, por lo que para ellos no son necesarias las estructuras

muy altas, aunque sí con muchos refugios, independientemente de que la poca profundidad impide el uso de estructuras grandes; b) la dispersión de estructuras con espacios entre ellas, parece ser más adecuada que los grandes promontorios, las primeras brindan mayor capacidad y variedad de refugios y amplían el acceso a las áreas de alimentación; c) algunos peces pelágicos (jureles) se alimentan en los arrecifes, por lo que la adición de estructuras flotantes deberá contribuir a su atracción hacia las zonas de pesca del arrecife.

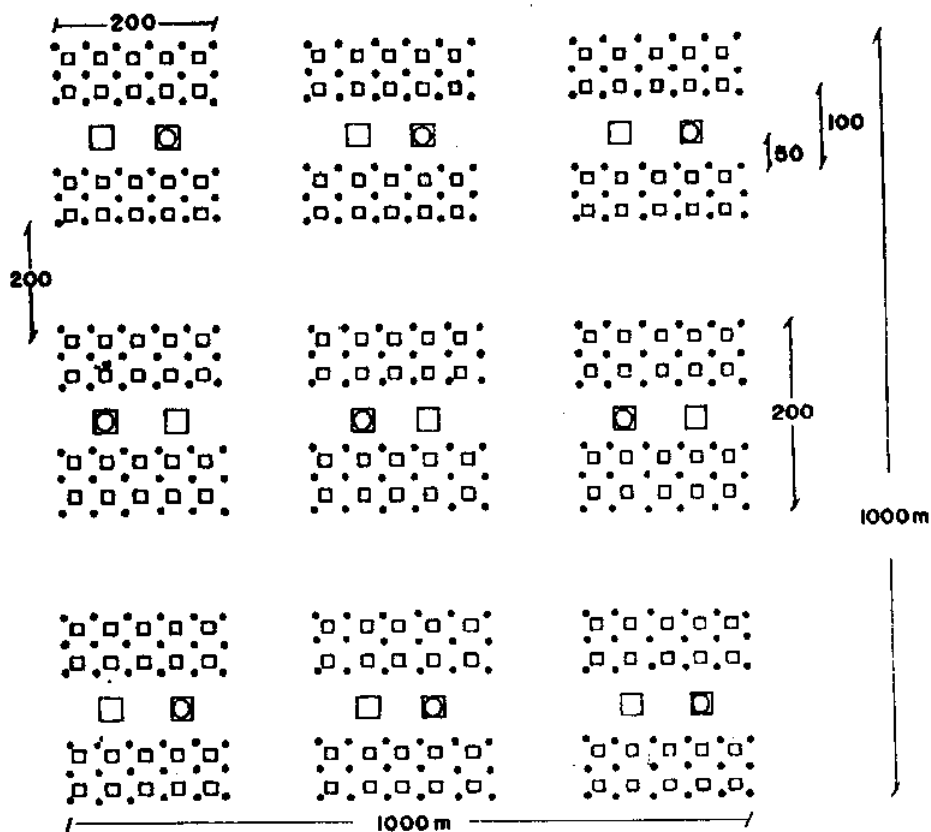
Dado que no existen antecedentes en cuanto al uso de verdaderos arrecifes artificiales en Cuba, el modelo que se describe a continuación se considerará en fase experimental, por lo cual se diseñarán experiencias variando la densidad y distribución de unidades, para seleccionar el sistema más adecuado. Se ha considerado además, los tipos de artes de pesca que se emplearán en su explotación. Así, por ejemplo, los módulos se dispondrán en línea recta (Fig. 16), de forma que se puedan calar tiras de nasas a lo largo del arrecife y se dejará en el centro una franja que permitirá la pesca con chinchorro de boliche en los pesqueros del centro, diseñados para concentrar los peces de mayor talla. El chinchorro es poco selectivo, por lo que será necesario regular estrictamente su uso. Estos pesqueros centrales serán los únicos provistos de refugios flotantes para peces pelágicos.

Un arrecife artificial estará constituido por nueve bloques, cada uno de los cuales debe formarse con 20 refugios pequeños en cuatro filas de cinco unidades y con dos refugios mayores en el pasillo central. Cada unidad debe estar rodeada, en la medida de las posibilidades, por sustratos para invertebrados y algas (Fig. 10).

El área total de un bloque será de 40 000 m² (0,04 km²). La distancia de un bloque a otro será de unos 200 m, por lo que el área de un arrecife será aproximadamente de 1 km², y su volumen de estructuras 2 300 m³. Por el momento se recomienda construir un arrecife por cada 8-12 km² en la costa *N* y la zona *SE*, y cada 20 km² en el Golfo de Batabanó, donde prevalecen grandes extensiones de arenas y gran parte de los seibadales se explotan actualmente con refugios para langostas. Tales densidades pueden aumentarse en el futuro en dependencia de los resultados.

Ubicación de zonas con condiciones para el establecimiento de arrecifes artificiales

Con el objetivo de realizar una primera cartografía de las zonas con perspectivas y definir las peculiaridades de las estructuras convenientes en cada región, se realizó un estudio de los biótopos de la plataforma, se empleó para ello las cartas náuticas, las investigaciones realizadas sobre la distribución de sedimentos superficiales (Ionin *et al.*, 1977), así como de los biótopos y



- REFUGIO GRANDE ($\approx 28,7 \text{ m}^3$)
- REFUGIO PEQUEÑO ($\approx 10 \text{ m}^3$)
- REFUGIO FLOTANTE
- REFUGIO PARA INVERTEBRADOS Y PECES PEQUEÑOS

Fig. 16. Configuración de un arrecife artificial y distribución de refugios en el mismo.

organismos bentónicos (Gómez *et al.*, 1980; Alcolado *et al.*, 1990; Jiménez y Alcolado, 1990), y datos de observaciones obtenidas en encuestas realizadas a pescadores. Además se realizaron observaciones de buceo en una amplia red de estaciones, que incluyeron: tipo de sedimento, constitución del sustrato, presencia de vegetación y organismos del macrobentos, ictiofauna asociada, transparencia y profundidad. Con estos elementos se seleccionaron aquellas regiones de la plataforma que se estimó poseen condiciones mínimas adecuadas, de acuerdo con los criterios de evaluación descritos anteriormente.

Las áreas definidas se presentan a escala 1:150 000, con las peculiaridades batimétricas contenidas en las cartas náuticas. Esta cartografía no incluye todas las áreas factibles de ser utilizadas, ya que no fue posible hacer observaciones de control en toda la plataforma, aunque sí están incluidas la gran mayoría de las que presentaban perspectivas. Dentro de las áreas definidas, pueden existir microbiótopos que no presenten condiciones adecuadas (por ejemplo, sedimento blando) ya que es imposible observar toda el área, pero no se pretende tampoco hacer una microlocalización de cada refugio, sino delimitar zonas con posibilidades de desarrollo. La instalación de cada arrecife, requiere de decisiones adicionales que se tomarán en la práctica.

Se adoptó la división de la plataforma cubana en cuatro zonas geográficas comúnmente utilizada y cada una de ellas se subdividió en sectores de aproximadamente 30x43 km (para poder presentarlas en hojas de 18x11), aunque se presentan solo aquellos en los cuales se identificó regiones con perspectivas. La Fig. 17 muestra la localización de dichas áreas. Para cada sector se brinda información sobre: área de desarrollo factible, número de arrecifes artificiales y refugios concentradores que pudiera albergar el área de acuerdo con la densidad propuesta de forma experimental y tipos de estructuras recomendables de acuerdo con las peculiaridades de los biótopos en la región. Esta cartografía se entregó al Ministerio de Industria Pesquera para su análisis y empleo, y no se incluye en esta publicación por su extensión y limitado interés. Se brinda a continuación una información resumida sobre las peculiaridades de cada región con el objetivo de este trabajo.

Zona A (Golfos de Ana María y Guacanayabo)

La zona SE se extiende desde Punta Maisí hasta Casilda. No obstante, el tramo comprendido entre Maisí y Cabo Cruz está formado por una costa de origen tectónico, sin plataforma, con terrazas submarinas y topografía compleja, no adecuada para arrecifes artificiales, aunque en ella pueden ser útiles las estructuras flotantes y de media agua para concentrar peces pelágicos (atunes, peces de pico, jureles, etcétera).

La zona comprende los Golfos de Ana María y Guacanayabo, que abarcan un área de 17 922 km². En ellos se localizan las mayores profundidades de la plataforma (hasta 30 m). El Golfo de Guacanayabo está dividido en dos cuencas interiores por el Gran Banco de Buena Esperanza. En su parte interior está cubierto por fango alevrítico, arcilloso, de color gris y verde gris, que se

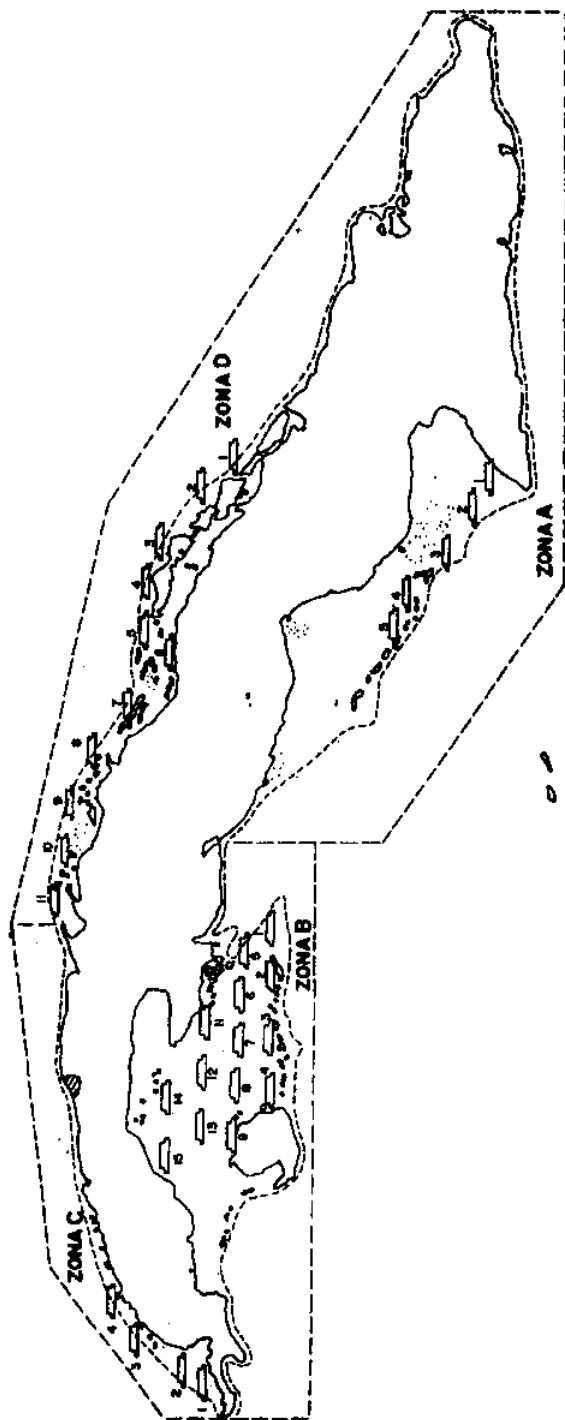


Fig. 17. Ubicación de áreas aptas para el establecimiento de arrecifes artificiales para peces con fines pesqueros. Cada número representa una zona más pequeña cuya distribución de arrecifes fue propuesta al Ministerio de la Industria Pesquera.

hace más claro con el alejamiento de la desembocadura de los ríos (Ionin, *et al.*, 1977). El fondo es blando, con pobre vegetación o ninguna y el agua muy turbia, con gran recirculación de los sedimentos del fondo y notables aportes fluviales donde predominan condiciones estuarinas, por lo que no presenta buenas condiciones para arrecifes artificiales.

La parte exterior del Golfo de Guacanayabo, desde Cayo Cabeza del Este hasta Cabo Cruz, a diferencia de otras regiones de la plataforma, no está limitada por cayos y arrecifes, sino simplemente por un abrupto declive del talud insular. El fondo es arenoso, birme, de origen orgánico, con fragmentos de corales y valvas de moluscos y en algunas regiones con restos de *Halimeda*, con seibadales dispersos poco densos. Aquí se localiza una amplia zona que posee condiciones para el establecimiento de arrecifes artificiales (unos 1 300 km²). La transparencia del agua no es buena y no hay puntos de referencia terrestres para la ubicación, por lo que la señalización adecuada de los refugios es indispensable. Por la intensidad del oleaje y las corrientes, en esta región deben ubicarse refugios pesados, de concreto. Cerca de la costa de la provincia Gramma, desde Belice hasta Cabo Cruz, se localizan seibadales al parecer adecuados para refugios hechos con neumáticos lastrados, aunque se requiere experimentar la influencia del régimen hidrológico sobre ellos.

El Golfo de Ana María es un acuatorio interior, separado del océano abierto por un cordón de cayos y arrecifes, y de tierra firme por lagunas costeras y estuarios. El manto sedimentario es considerablemente uniforme, formado por fangos arenosos de color gris, con valvas de moluscos. Hacia el S, el fango es más claro debido al aumento del contenido de carbonato de calcio. El fondo es en general poco consistente, carente de vegetación. Esta zona, conjuntamente con la parte interior del Golfo de Guacanayabo, constituyen las principales zonas de pesca de camarón en el país, razón suficiente para eliminar el uso de arrecifes artificiales en la zona. No obstante, por la alta productividad de la zona, resulta conveniente la microlocalización de pequeñas áreas, cerca de los cayos y la costa, donde no llegan los arrastres de camarón, y donde la estructura del fondo permite ubicar refugios aislados para atraer y concentrar peces.

En las regiones poco profundas donde se asientan los arrecifes del Gran Bajo de Buena Esperanza, se localizaron algunas áreas estrechas de fondo rocoso, con seibadal poco denso, en los cuales es conveniente establecer pesqueros que permitan concentrar los peces de grandes arrecifes someros, donde no es posible la pesca. La microlocalización de tales áreas puede ser acometida por las empresas pesqueras locales, sin olvidar que deben guiarse por los patrones recomendados anteriormente. En las aguas interiores de ambos Golfos pueden ser muy útiles las estructuras florantes para concentrar escombridos y jureles.

En el borde exterior del Golfo de Ana María existen pequeñas áreas de seibadales arenosos donde también se pueden microlocalizar pesqueros para atraer los peces de los arrecifes cercanos.

En el Golfo de Ana María, cerca de las cayerías de las Doce Leguas, por su parte interior, se localizaron áreas con fondos areno-fangosos y seibadal, adecuados para la ubicación de arrecifes artificiales no muy pesados, de neumáticos lastrados. Al *N* de Cayo Caballones y Cayo Grande no se pudo hacer muestreos de control, pero según las encuestas con pescadores, en la franja cercana a los cayos, hasta Bretón, existen áreas adecuadas para ubicar pesqueros.

En total se localizaron 1 742 km² de áreas con condiciones para arrecifes artificiales en la zona *SE*, cifra que probablemente pueda aumentarse a unos 2 000 km².

Zona B (Golfo de Batabanó)

El Golfo de Batabanó es la zona de plataforma más grande de Cuba, unos 20 870 km², aunque la profundidad fluctúa desde unos pocos centímetros cerca de los cayos y bajíos, hasta 15 m en los canales. Está bordeado por el Grupo Insular "Los Canarreos" y por arrecifes de barrera, los cuales forman un mar interior o macrolaguna. Por la constitución de sus sedimentos, se diferencian cinco regiones bien definidas: (1) la región *E* del Golfo, con predominio de arenas tipo oolítico, con seibadales de biomasa de baja o muy baja densidad, pobre en materia orgánica particulada; (2) la región central, con sedimentos areno-fangosos carbonatados, blanquecinos, con componentes biogénicos, con lenta e inestable acumulación, la biomasa del seibadal es baja, así como la cantidad de materia orgánica, ambas más abundantes cerca de los cayos; (3) la región *W*, con un complejo de sedimentos areno-fangosos carbonatados, de color gris parduzco a oscuro, de origen terrígeno, donde la acumulación es intensa, el seibadal de biomasa vegetal media a alta, cargado de materia orgánica, carente de macrovegetación, agua turbia; (5) la región *N* y *NW* de la Isla de la Juventud, formada por una franja de sedimentos silicatados, de color gris a gris oscuro, rica en materia orgánica, con seibadales de biomasa media a alta, pero variable, ya que en algunas regiones este no existe (Ionin *et al.*, 1977; Alcolado *et al.*, 1990). Las regiones *E* y central del Golfo, presentan enormes zonas desérticas por la ausencia en ellas de refugios naturales, razón por lo que es muy pobre la actividad pesquera en ellos, salvo en las cercanías de los cayos donde se explotan pesqueros y cabezos.

Con excepción de la Ensenada de la Broa, casi todo el Golfo presenta buenas condiciones para arrecifes artificiales, allí donde la profundidad lo permite. La Ensenada de la Broa, sin embargo, presenta perspectivas solo para el uso de refugios flotantes para peces tales como la pintada, sierra, serrucho (*Scombridae*), la jiguagua, la cojinúa (*Carangidae*) y otros pelágicos.

En las cercanías de los cayos, tanto en la macrolaguna como por su parte exterior hay ricos seibadales donde es conveniente el uso de pesqueros para atraer los peces que son abundantes en los manglares (principalmente caballerote, cubera, cají, etc.) o de los arrecifes de barrera.

Debido a que en el Golfo se desarrolla con gran éxito la pesca de la langosta (*Panulirus argus*), en gran medida gracias al uso de pesqueros especialmente diseñados para ello, en esta primera etapa se deben desarrollar sistemas de refugios para peces en las zonas donde es menor la cantidad de pesqueros de langosta, o no hay. La densidad de arrecifes artificiales propuesta por área con condiciones, es 50% menor que en las demás zonas. En realidad, no hay elementos sólidos que indiquen la existencia de competencia, depredación u otro factor que impida la simultaneidad de ambos sistemas de refugios artificiales en la misma zona. No obstante, es conveniente realizar estudios al respecto. Se identificaron en total unos 10 000 km² donde podrían ubicarse más de 500 arrecifes artificiales.

Zona C (región NW)

Se extiende desde el Cabo San Antonio hasta Punta de Hicacos, aunque la plataforma solo llega realmente hasta Bahía Honda. De ahí hasta Punta Hicacos se extiende una estrecha terraza submarina de relieve complejo, que no presenta condiciones para el establecimiento de refugios artificiales. Se estima el área de la zona en 3 949 km². En su región más importante, el Golfo de Guanahacabibes, se observan tres subregiones principales: (1) junto a la misma orilla se acumulan sedimentos poco carbonatados y fangos puros alevríticos y arcillosos, con valvas de moluscos. Desde Punta Cajón al *N* de la Península, hasta Punta Plumaje, al *E*, el fondo es rocoso con gorgonarios y esponjas, que coinciden con la *Thalassia* medio densa a densa muy cerca de la costa; (2) en la parte media del Golfo se acumulan sedimentos biogénicos carbonatados; en la mitad *E*, hacia la Ensenada de Guadiana, el fondo es de arena fangosa a fangoso, con abundantes residuos de algas calcáreas (*Halimeda*) y valvas de moluscos, firme en la mitad del Golfo pero cada vez más blando hacia el *E*. La vegetación es escasa o nula. En el medio de la cuenca abundan los arrecifes que se levantan verticalmente sobre el fondo, forman círculos o barreras hasta 4-10 m de la superficie. En su centro el fondo es poco consistente, debido a que está formado por sedimento fino producto de su entrapamiento entre los arrecifes. Desde la mitad del Golfo hacia el *E* se extiende, paralela al arrecife que lo bordea, una franja de arena coralino-conchífera, el fondo es consistente y la transparencia es mayor que en el resto del Golfo.

La zona costera al *N* de la Península de Guanahacabibes y la franja de fondo arenoso que bordea el arrecife, presentan condiciones favorables para el establecimiento de arrecifes artificiales. En la región costera al *S* de Cayo Buenavista, también se extiende un área con perspectivas, aunque el fondo no es tan sólido, por lo que en ella deben emplearse refugios poco pesados, aunque lastrados, ya que el oleaje puede ser fuerte en invierno.

La estrecha franja de plataforma que se extiende al *E* del Golfo de Guanahacabibes, desde Cayo Buenavista a Bahía Honda, está cubierta por

arena fangosa, por lo que aumenta la proporción de fangos hacia la costa y de arena hacia los arrecifes. La densidad del seibadal sigue el mismo patrón de distribución que la proporción de fango. En esta región se localizan r áreas relativamente pequeñas con condiciones para arrecifes artificiales.

Debido a la intensidad de las corrientes y el oleaje en la Zona C, es necesario ubicar refugios pesados en muchos lugares, ya sea de concreto o de neumáticos lastrados. Aún así, antes de ubicar refugios de neumáticos en la región es conveniente probar su estabilidad ante el oleaje invernal y las tempestades.

En total se estima un área apta para el desarrollo de arrecifes artificiales de unos 800 km².

Zona D (región NE)

Se prolonga desde Punta Hicacos hasta Punta Maisí, con una anchura de 6-33 km y un área total de 10 115 km². Bordea la plataforma el Grupo Insular "Jardines del Rey o Sabana Camaguey" en una franja de 65 km, que delimita un mar interior muy poco profundo (0,2-3 m) donde son abundantes los bajos, de ahí que limitada la navegación y el intercambio de aguas con el océano. El efecto de aguas fluviales es notable, por lo que predominan los fondos fangosos blandos, aguas muy turbias y en general condiciones estuarinas poco adecuadas para el establecimiento de arrecifes artificiales.

Al N de la cayería y hasta el veril, se extiende una estrecha franja de fondo rocoso o cubierto de arena guesa carbonatada, aunque en dirección hacia la costa aumenta la proporción de fangos en el sedimento. Aquí se encuentran seibadales en ocasiones bastante densos. En la franja exterior de la zona D se localizaron importantes áreas para el establecimiento de arrecifes artificiales. Por las condiciones climáticas e hidrológicas de la zona es conveniente el empleo de estructuras de concreto relativamente altas en gran parte de la misma. En algunas regiones interiores se encontraron pequeñas áreas con condiciones para arrecifes de neumáticos y pesqueros. El tramo que se extiende desde Bahía de Nuevititas hasta Punta Maisí, está constituido por una costa sin plataforma, de origen tectónico, con proliferación de terrazas submarinas en toda su longitud, topografía que consideramos no apta para arrecifes artificiales. No obstante, debe explorarse la posibilidad de establecer atractores para peces pelágicos, que sean fácilmente transportables, ya que las severas condiciones climáticas de la región (oleaje, vientos) no permiten el establecimiento de estructuras permanentes. En algunas de las grandes bahías de esa zona pudieran localizarse pequeñas áreas para ubicar pesqueros y concentrar peces.

Debido a la intensidad del oleaje en la zona, y por no existir antecedentes en cuanto al uso de pesqueros en ella, es conveniente probar el uso de neumáticos lastrados antes de decidir su empleo en las áreas propuestas.

El área total de desarrollo identificada hasta el momento asciende a unos 1 270 km², donde pueden ubicarse unos 160 arrecifes artificiales.

Dado el alto nivel de esfuerzo pesquero existente en la zona, es necesario prever su reducción y control en la medida en que se establezcan arrecifes artificiales, ya que en una primera etapa estos pueden aumentar la vulnerabilidad de los peces, y facilitar su sobreexplotación.

Factibilidad de desarrollo del programa

Las áreas de desarrollo aptas para el establecimiento de arrecifes artificiales para peces con fines pesqueros, localizadas durante este trabajo, suman 13 518 km². Con la densidad propuesta para cada región, podrían ubicarse 851 arrecifes, formados por 168 190 refugios demersales y 7 596 pelágicos. Aunque estas cifras constituyen solo una primera aproximación y no cubren todas las posibilidades, las mismas evidencian sin lugar a dudas la magnitud de la tarea. De ello se desprende la necesidad de elaborar un programa a largo plazo, acorde con las posibilidades actuales y perspectivas del país. Paralelamente, es necesario elaborar y desarrollar un programa de investigaciones que permita ir perfeccionando los métodos de explotación de refugios artificiales de acuerdo con las peculiaridades específicas de cada región, evaluar el impacto sobre el ecosistema, elaborar metodologías para elevar al máximo la productividad biológica y pesquera, y establecer un sistema organizativo de la pesca que garantice el aprovechamiento adecuado y la protección de los recursos pesqueros de cada zona.

En las áreas que se seleccionen para iniciar el programa, la ubicación de arrecifes debe hacerse con la menor densidad posible por área de desarrollo, con una distribución uniforme. El crecimiento posterior, por etapas, debe mantener ese principio.

En las regiones de interés turístico, se deben localizar áreas adecuadas para la pesca recreativa. Para ello es necesario realizar exploraciones específicas en cada región y definir las peculiaridades de las estructuras artificiales de acuerdo con las características de los biótopos y la forma de explotación que se requiere.

Reconocimientos

Agradecemos en primer lugar la colaboración brindada por los pescadores, Burós de Captura y personal administrativo de las Empresas Pesquero-Industriales de Batabanó, Isla de la Juventud, Pinar del Río, Matanzas, Cienfuegos, Caibarién, Manzanillo y Santa Cruz del Sur, en la realización de encuestas y obtención de datos. Asimismo agradecemos la participación en las observaciones de biótopos de los técnicos Víctor Isla, Jorge L. Hernández y Macario Esquivel, así como del C. Dr. Luis M. Sierra.

Referencias

- Alcolado, P. M., et al. (1990): Aspectos ecológicos de la macrolaguna del Golfo de Batabanó, con especial referencia al bentos. En *El bentos de la macrolaguna del Golfo de Batabanó* (P. M. Alcolado, ed.), Ed. Academia, La Habana, pp. 129-155.
- Alfieri, D. J. (1975): Organismal development on an artificial substrate. July 1974. Estuarine Coastal. *Mar. Sci.*, 3:465-472.
- Baisre, J. A. (1985): Los recursos pesqueros marinos de Cuba: fundamento ecológicos y estrategias para su utilización, tesis de candidatura, Autoepitome, 17 pp., 9 illus., 1 tabla.
- Bohnsack, J. A. (1989): Are High densities of fishes at artificial reefs the result of habitat limitation or behavioral preferences? *Bull. Mar. Sci.*, 44(2):631-645.
- Bustamante, G., J. E. García-Jorge y J. P. García-Arteaga (1982): La pesca con chinchorro en la región oriental del Golfo de Batabanó y algunos datos sobre las pesquerías en la plataforma cubana. *Rep. Invest. Inst. Oceanol., Acad. Cien. Cuba*, 4:1-31.
- Candle, R. D. (1983): Scrap tires as artificial reefs. En *Initial Draft of the Proceedings for artificial reefs in the Great Lakes*, pp. 1-14.
- Carpenter, J. S. (1977): Philippine coral reef fisheries resources. *Philipp. J. Fish.*, 17:95-125.
- Claro, R. (1981): Ecología y ciclo de vida de la bíaiaiba, *Lutjanus synagris*, en la plataforma cubana. II. Biología pesquera. *Inf. Cien.-téc. Inst. Oceanol. Acad. Cien. Cuba*, 177:1-53.
- Claro, R., J. A. Baisre y J. P. García-Arteaga /en prensa/: "Pesquerías". En "Ecología de los peces marinos de Cuba" (R. Claro ed.), Ed. Academia.
- Claro, R. y J. P. García-Arteaga /en prensa/: "Crecimiento". En "Ecología de los peces marinos de Cuba" (R. Claro, ed.), Ed. Academia.
- Claro, R., J. P. García-Arteaga; E. Valdés-Muñoz y L. M. Sierra /en prensa/: "Alteraciones de las comunidades de peces en relación con la actividad pesquera". En "Comunidades de peces del Golfo de Batabanó" (R. Claro, ed.), Ed. Academia.
- Claro, R. y E. Giménez /en prensa/: "Desarrollo y estado actual de las pesquerías de peces en la región Este del Golfo de Batabanó". Ed. Academia, La Habana.
- Coustalin, J. B. (1971): Methodologie experimentale en vie de la creation de recifs artificiale. *Thethys*, 3(4):827-840.
- Dale, G. (1978): Money in the bank: a model for a coral reef fish coexistence. *Environ. Biol. Fish.*, 3:103-108.
- Duval, C. y D. Bellan-Santini (1982): Benthic artificial submerged buildings in the NW Mediterranean Sea. I. Construction of an experimental cavernous unit. *Thethys*, 10(3):274-279.
- FAO (1983): "Final report on formulation of a program for artificial reef setting" /inédito/, Ministerio de la Industria Pesquera, Cuba.
- Fein, D. Ch. y M. Morganstein (1974): New Artificial Reef of Oahu. En *Proceedings of an international conference on artificial reefs*, pp. 51- 55.
- García-Arteaga, J. P., R. Claro, L. M. Sierra, y E. Valdés-Muñoz (1990): "Características del reclutamiento a la plataforma de los juveniles de peces neríticos en la región oriental del Golfo de Batabanó". En *Asociaciones de peces en los biótotos del Golfo de Batabanó* (R. Claro, ed.), Ed. Academia, La Habana, pp. 96-122.
- Giménez, E., R. Tizol y M. L. Hernández /en prensa/: "Uso y distribución de los arrecifes artificiales en Cuba". *Rev. Cubana Invest. Pesca*.

- Gómez, O., D. Ibarzabal y A. Silva (1980): "Evaluación cuantitativa del bentos en la región suroccidental de Cuba". *Inf. Cieent.-téc. Inst. Oceanol. Acad. Cien. Cuba*, 149:1-15.
- Green, M. (1982): "Enhancement of the marine environment for fisheries and aquaculture in Japan". *Washington Dept. Fish. Techn. Rep.* 69.
- Helfman, G. S. (1978): Patterns of community structure in fishes: summary and overview. *Environ. Biol. Fish.*, 3(1):129-148.
- Hilbertz, W. H. (1981): "The electrodeposition of minerals in sea water for the construction and maintenance of artificial reefs". En *Artificial Reefs: Conference Proceedings* (D. Y. Alaska, ed.), Fla Sea Grant Coll. Rep. 41, pp. 123-148.
- Hill, R. B. (1978): "The use of nearshore marine life as food resources by American Samoans". *Pac. Is. Stu. Progr. Univ. Hawaii*, 170 pp.
- Hixon, M. A. y Beets, J. P. (1989): Shelter characteristics and Caribbean fish assemblages: experiments with artificial reefs. *Bull. Mar. Sci.*, 44(2):666-680.
- Holbrook, J. E. (1860): *Ichthyology of South Carolina* 2nd edn. Charleston, 205 pp. (citado por Parker et al., 1974).
- Hunter, J. R. (1968): "Fishes beneath flotsam". *Sea Frontiers*, 14(5):280-288.
- Huntsman, G. R. y G. S. Manooch (1978): "Coastal pelagic and reef fishes in the South Atlantic Bight". *Mar. Recreational Fish.* 3. Pro. Int. Annual Mar. Recreational Fish. Symposium Norfolk, Va. (H. Clepper, ed.), pp. 97-106.
- Ionin, A. S., Y. A. Pavlidis y O. Avello-Suárez (1977): *Geología de la plataforma de Cuba / en ruso. Nauka, Moscú*, 215 pp.
- Jiménez, C. y P. M. Alcolado (1990): Características del macrofitobentos en la macrolaguna del Golfo de Batabanó. *El viento de la macrolaguna del Golfo de Batabanó* (P. M. Alcolado, ed.), Ed. Academia, La Habana, pp. 8-13.
- Loder, C. T.; T. G. Rowe; H. C. Clefford (1974): "Experiments using boled urban refuse as artificial reef material". En *Proceedings of an international conference on artificial reefs*, pp. 56-59.
- Marshall, N. (1980): "Fishery yield of coral reefs and adjacent shallow-water environments". En *Stock assesment for tropical small-scale fisheries* (S. B. Sails y P. M. Roedel, eds.) Int. cont. Mar. Res. dev. Univ. Rhode Island, Kingston, pp. 103-109.
- Mathews, H. H. (1966): "Primary production measurements on artificial reef". *Thesis. Fla. Sta. Univ.*, 34 pp. (citado por Oren, 1968).
- Mochek, A. D. y E. Valdés-Muñoz (1984): Los arrecifes artificiales de los mares de diferentes latitudes. *Rep. Invest. Inst. Oceanol. Acad. Cien. Cuba*, 30:1-7.
- Munro, J. L. (1977): Actual and potential production from the coralline shelves of the Caribbean Sea. *FAO Fish. Rep.* 200:301-321.
- Munro, J. L. (1983): "Coral reef fish and fisheries of the Caribbean Sea". En *Caribbean Coral Reef Fishery Resources* (J. L. Munro, ed.), ICLARM Studies Review, 7:1-9.
- Odum, W. E. (1971): *Fundamentals of Ecology*. W. B. Saunders Co., Philadelphia, 574 pp.
- Oren, O. K. (1968): Artificial reefs, a short review and appeal. *FAO Fish. Circ.*, N. Frs/C 305, 6 pp.
- Parker Jr., R. O., R. B. Stone, C. C. Buchanan y F. W. Steimle (1974): "How to build marine artificial reefs". *Fish. Facts*, 10:1-46.
- Randall, J. E. (1963): "An analysis of the fish populations of artificial and natural reefs in the Virgin Islands". *Caribb. J. Sci.*, 3(1):31-47.
- Russ, G. (1984): A review of coral reef fisheries. *UNESCO Rep. Mar. Sci.*, 27:74-92.
- Sale, P. F. (1975): "Patterns of use of space in a guild of territorial reef fishes". *Mar. Biol.*, 29:89-97.
- Sale, P. F. (1978): "Coexistence of coral reef fishes - a lottery for living space". *Envir. Biol. Fish.*, 3:85-102.

- Sheehy, D. J. (1983): "New approaches in artificial reef design and applications". *Aquabio*, 13 pp.
- Sierra, L.; R. Claro y O. Popova /en prensa/: "Alimentación". En "Ecología de los peces marinos de Cuba" /R. Claro, ed./ Ed. Academia.
- Silva Lee, A. (1975): Observaciones sobre arrecifes artificiales usados para pescar en Cuba. *Ser. Oceanol., Acad. Cien. Cuba*, 26:1-13.
- Smith, C. L. y J. C. Tyler (1973): Direct observations of resource sharing in coral reef fish. *Helgolander Wiss. Meeresunters.*, 24:264-275.
- (1975): Succession and stability in fish communities of dome-shaped patch reefs in the West Indies. *Am. Mus. Novitates*, 2 572:1-18.
- Stevenson, D. K. y N. Marshall (1974): Generalizations on the fisheries potential of coral reefs and adjacent shallow-water environments. *Proc. 2nd Int. Symp. Coral Reefs*, Brisbane.
- Stone, R. (1972): General introduction to artificial reefs. *Proc. Sport Fishing Seminar. Coastal Plains Center for Mar. Develop. Ser. Seminar Ser.*, pp. 1-3.
- (1973): "Artificial reefs and coastal fishery resources". En *Proc. Tenth Space Congress*, pp. 19-20.
- (1983): "History of artificial reef use in the United States". En *Initial Draft of the Proceedings for artificial reefs in the Great Lakes-Michigan Sea Grant Coll. Prog.*, pp. 1-13.
- Stone, R.; C. C. Buchanan y R. O. Parker Jr. (1973): *Expansion and evaluation of an artificial reef of Murrells Inlet*, S. C. Final Report to Coastal Plains Regional Comision, 200L St. N. W. Suite 414 Wash. D. C. 20036, p. 55 (citado por Stone, 1973).
- Stone, R.; C. C. Buchanan y F. W. Steimle Jr. (1974): "Scrap tires as artificial reefs". U.S. *Environmental Protection agency, Summary Report*, SW- 119, 33 pp.
- Unger, I. (1966): Artificial reefs a review. *Am. Littoral Soc., Special Pub.*, no. 4, 74 pp.
- Valdés-Muñoz, E. y A. Silva Lee (1977): Alimentación de los peces de arrecifes artificiales en la plataforma suroccidental de Cuba. *Inf. Cient. Tecn., Inst. Oceanol. Acad. Cien. Cuba*, 24:1-21.
- von Brant, A. B. (1972): *Fish catching methods of the World*. Fishings News Ltd. London, 240 pp.
- Wass, R. C. (1982): "The shoreline fishery of American Samoa -past and present". En: *Ecological aspects of coastal zone management* (J. L. Munro, ed.), Proc. Seminar on Marine and Coastal Processes in the Pacific. Motupore Is. Res. Centre, July 1980, UNESCO, Jakarta, pp. 51-83.
- Welcome, R. L. (1971): A description of certain indigenous fishing methods from Southern Dahomey. *Afri. J. Trop. Hidrobiol. Fish.*, 1(2):129-140.
- Westernberg, J. (1953): Acoustical aspects of some Indonesian fisheries. *J. du Cons.*, 18(3):311-325 (citado por Silva, 1975).
- Wickham, D. A., J. W. Wathson Jr. y L. H. Ogren (1973): The efficacy of midwater artificial structures for atrating pelagic spot fish. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 102(3):563-572.
- Wijkstrom, V. N. (1974): Precessing and marketing marine fish possible guidelines for the 1975-1979 period. En *Int. Conf. on Mar. Res. Develop. in Eastern Africa* (A. S. Msangi, y J. J. Griffin, eds.), Univ. Dar es Salaam and Int. Center Mar. Res. Develop., Univ. of Rhode Island, Kingston, pp. 55-67.
- Woodhead, P. M.; J. H. Parker y I. W. Duedall (1982): "The use of fly ash from coal combustion for artificial reef construction". *Aquabio*, 37 pp.

ABSTRACT. A brief analysis of basic principles on which is has been developed the use of artificial reefs, and a summary of accepted methods and technics are given. The need for prior definition of concrete objectives and for special design of reef's structures in relation with those objectives, as adequate way for the projection of long term programs are argued hereby. The principles and objectives for national programs are efined. In relation with this, the following basic principles were established: a) artificial reefs most be oriented mainly to increase the biological and fishing production of Cuban shelf. This rule introduce subtancial changes on actual concepts wich are based only on the increase of productivity per uit effort; b) it is necessary to stablish an adequate equilibrium between fishing effort and refuge capacity, food availability and recruitment. In consequence, the use of artificial reef formed with hight densities of refuges for algae, invertebrates and fishes, in substitution of actual use of isolated refuges to attract and concentrate fishes is argued. A methodology for national program which includes the definition of adequate materials and structures, the configuration of the reefs and theeeeir quantity and distribution are proposed, in acordance with defined objectives. As a result of the study of biotopes of Cuban shelf there were located about 13 500 km² of areas with adequated conditions for artificial reefs and isolated refuges in which it is posible to construct more than 850 reefs, each one of them formed by 200 refuges. The use of artificial reefs for recreational fishing is recomended.

La reciente necesidad de productos pesqueros obliga a elaborar nuevas vías para obtener el mayor beneficio posible de los recursos naturales acuáticos. Algunos incrementos, aunque no sustanciales, podrían obtenerse mediante un mejor manejo de los recursos, sin embargo las mayores perspectivas se vislumbran a través de la maricultura.

El uso planificado y controlado de refugios artificiales, debe contribuir, no solo a un mejor manejo de las pesquerías y a la conservación del medio marino, sino que además, es una de las formas fáciles y seguras de la maricultura.

Atendiendo a la importancia de estas técnicas y el interés del Ministerio de la Industria Pesquera, el Instituto de Oceanología de la Academia de Ciencias de Cuba pone a su consideración el presente trabajo; en el que aparece una recopilación histórica y un análisis científico de la experiencia nacional e internacional, se elaboraron conceptos y criterios propios en cuanto a los principios que deben regir el desarrollo de esta actividad en nuestro país, y se hace un inventario de todas las áreas de la Plataforma con condiciones adecuadas para la instalación de estructuras artificiales.